GEOCIÊNCIAS:
A história da terra
2

Luis Ricardo Fernandes da Costa
(Organizador)

Atena Editora
Ano 2022

GEOCIÊNCIAS:
A história da terra
2

Luis Ricardo Fernandes da Costa
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2022

Geociências: a história da terra 2

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: LuisRicardo Fernandes da Costa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G342 Geociências: a história da terra 2 / Organizador Luis Ricardo Fernandes da Costa. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-0017-2
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.172223003

1. Geociências. I. Costa, Luis Ricardo Fernandes da (Organizador). II. Título.

CDD 550

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

APRESENTAÇÃO

É com muito prazer que apresentamos a obra “Geociências: a história da Terra 2”, que apresenta uma série de seis artigos com diferentes abordagens e metodologias que dão prosseguimento as discussões do livro anterior.

A obra é composta por trabalhos voltados para as geociências e que abordam diferentes metodologias, desde análises de qualidade de água, passando pela importância de fontes de energias renováveis, além do planejamento ambiental e suas diferentes aplicações para o meio ambiente.

Como destaque, cabe ressaltar a aplicabilidade em diferentes contextos e realidades no Brasil e no exterior, além das experiências voltadas a consolidação do ensino de geociências a nível nacional, como é abordado ao longo do livro.

Diante dos desafios e atual conjuntura da ciência brasileira, a presente obra é uma possibilidade e esforço de divulgação de trabalhos em diferentes escalas e com a qualidade a nível Brasil, mesmo com os percalços e desafios da pesquisa c tidiana.

Convidamos a todos os leitores a percorrer pelo sumário e conferir o novo volume para essa coleção, com possibilidades de expansão e disseminação nos próximos trabalhos da área.

Luis Ricardo Fernandes da Costa

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

DETERIORATION OF WATER QUALITY IN THE NHARTANDA VALLEY AQUIFER, CITY OF TETE – MOZAMBIQUE

Data de aceite: 01/02/2022

Ameno Délcio João Paulino Bande
Universidade Púnguè, Extensão de Tete, Moçambique

Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes
Universidade do Minho, Gualtar, Braga, Portugal

ABSTRACT: Groundwater is more protected than surface water. This is due to the filtering capacity exerted by the soil and by the unsaturated area of the aquifers. However, there are hydrophilic substances that can compromise the water quality of these sources. The deterioration of groundwater quality can be caused by human activities or natural processes, the action of both factors being more frequent. In this perspective, this study aims to evaluate the water quality of the Nhartanda Valley aquifer system. In this evaluation some organoleptic, physico-chemical and biological parameters were performed using a portable multiparameter for In Situ analysis, a UV-Visible spectrophotometer for chemicals and 3M™ Petrifilm™ plates to inoculate and perform biological analysis. The results obtained in 03 analyzes each, show that the water quality of the Nhartanda aquifer system is affected and is deteriorating by human activity (urban, domestic, agricultural and livestock, among others) and natural (saline intrusion and mineral dissolution). This time, joint actions must be carried out as a way of conserving and protecting this main public source of water supply to the Municipality of Tete.

KEYWORDS: Groundwater, Deterioration, Nhartanda Valley, Tete and Mozambique.

DETERIORIZAÇAO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO AQUÍFERO NO VALE NHARTANDA, CIDADE DE TETE - MOÇAMBIQUE

RESUMO: As águas subterrâneas são mais protegidas do que as águas superficiais. Isso se deve à capacidade filtrante exercida pelo solo e pela área insaturada dos aquíferos. No entanto, existem substâncias hidrofílicas que podem comprometer a qualidade da água dessas fontes. A deterioração da qualidade das águas subterrâneas pode ser causada por atividades humanas ou processos naturais, sendo a ação de ambos os fatores mais frequente. Nesta perspectiva, este estudo tem como objetivo avaliar a qualidade da água do sistema aquífero do Vale do Nhartanda. Nesta avaliação alguns parâmetros organolépticos, físico-químicos e biológicos foram realizados utilizando um multiparâmetro portátil para análise In Situ, um espectrofotômetro UV-Visível para parâmetros químicos e placas 3M™ Petrifilm™ para inocular e realizar análises biológicas. Os resultados obtidos em 03 análises cada, mostram que a qualidade da água do sistema aquífero de Nhartanda é afetada e está se deteriorando pela atividade humana (urbana, doméstica, agrícola e pecuária, entre outras) e natural (intrusão salina e dissolução mineral). Desta feita, devem ser realizadas ações conjuntas como forma de conservar e proteger esta principal fonte pública de abastecimento de água ao Município de Tete.
PALAVRAS-CHAVE: Água Subterrânea,

Deterioração, Vale de Nhartanda, Tete e Moçambique.

1 | INTRODUCTION

This work aims to evaluate the quality of groundwater in the Nhartanda Valley Aquifer System, Tete City. This study is a fundamental tool to support water management, especially in this region where the precious liquid is “scarce and limited” for the community. Water scarcity in many countries and/or cities with high population concentration has become an impediment to development and, in many cases, an obstacle to their own livelihoods. The use of water resources presupposes carrying out sample studies to assess its quality. In this way, it is crucial to know the environmental factors, both natural and human that, directly or indirectly, affect the quality of the water and, with this, base the direction of the investments necessary to raise the quality levels of the same. For this purpose, analyses of organoleptic, physico-chemical and biological parameters were carried out in the Nhartanda Aquifer System and the results were compared with the potability standard established by the Ministry of National Health and the WHO, since this water is sometimes consumed still in raw form.

2 | STUDY AREA – NHARTANDA VALLEY

The Nhartanda Valley (Fig. 1c) is located in Southern Africa, more specifically in the Central region of Mozambique (Fig. 3.1a), in the southern part of Tete City (Fig.3.1b), homonymous province. It is a fluvial plain of the Zambezi River, with NW/SE orientation, in an area of 6.76 km^2, corresponding to 2.2% of the surface of the City of Tete, which is approximately 314 km^2. This valley has a length of 6.45 km and a maximum and minimum width of 1.4 km and 0.47 km respectively.

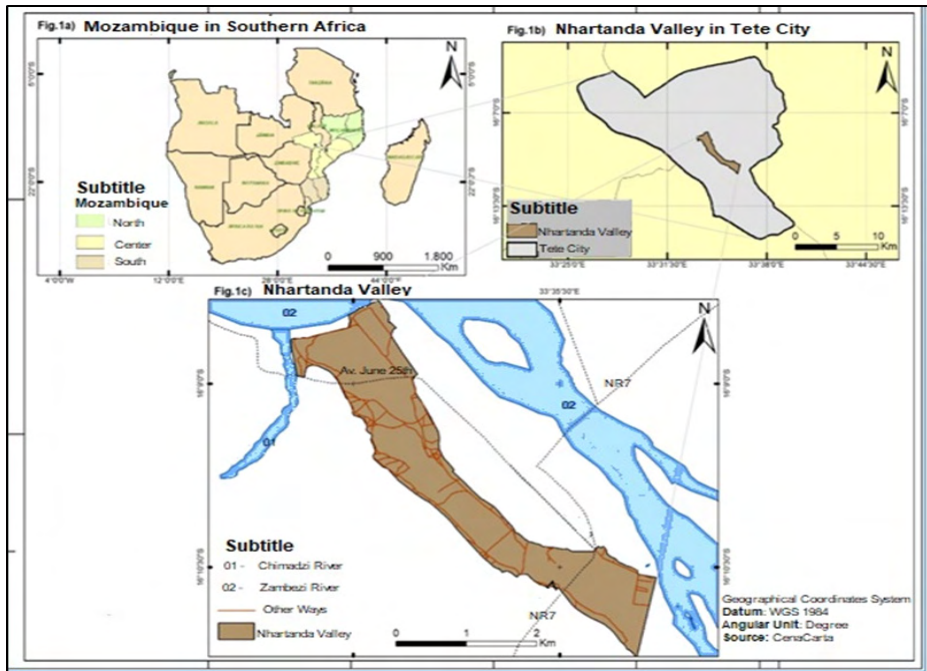



Figure 1: Location of the Nhartanda Valley.

The Nhartanda Valley consists of Phanerozoic sedimentary formations (sandstones) from the Lower Zambezi and presents a flat relief, with altitudes between 125m-130m, resulting from the evolution of one of the anastomosed systems of the Zambezi River.

Nhartanda is located in the middle section of the Lower Zambezi and in the Mozambique North climate region, dominated by a Tropical Dry climate and alluvial soils (fine, medium and coarse sand). This aquifer is intergranular, free and isotropic, subordinate to the Zambezi River, with flows greater than $200m^3/h$ and "insignificant" lowering (less than 2 meters) (MUCHANGOS, 1999 & COBA, 2012, 2013). The depth of the static (S.L.) and dynamic (D.L.) water levels range from 4.8m to 7.7m and from 9.2m to 19m, respectively. The estimated recharge is 6 000 000 m^3/year, with ~4% of runoff, ~12% of precipitation and hills and ~84% of the Zambezi River and the hydraulic conductivity is greater than 86 m/day (WE CONSULT, 2016).

Furthermore, the physical-geographical characteristics of Nhartanda favour the development of various activities (agricultural and livestock and areas of human occupation, which include residential areas, service provision, ceramic craft factories and others) (Fig. 2).

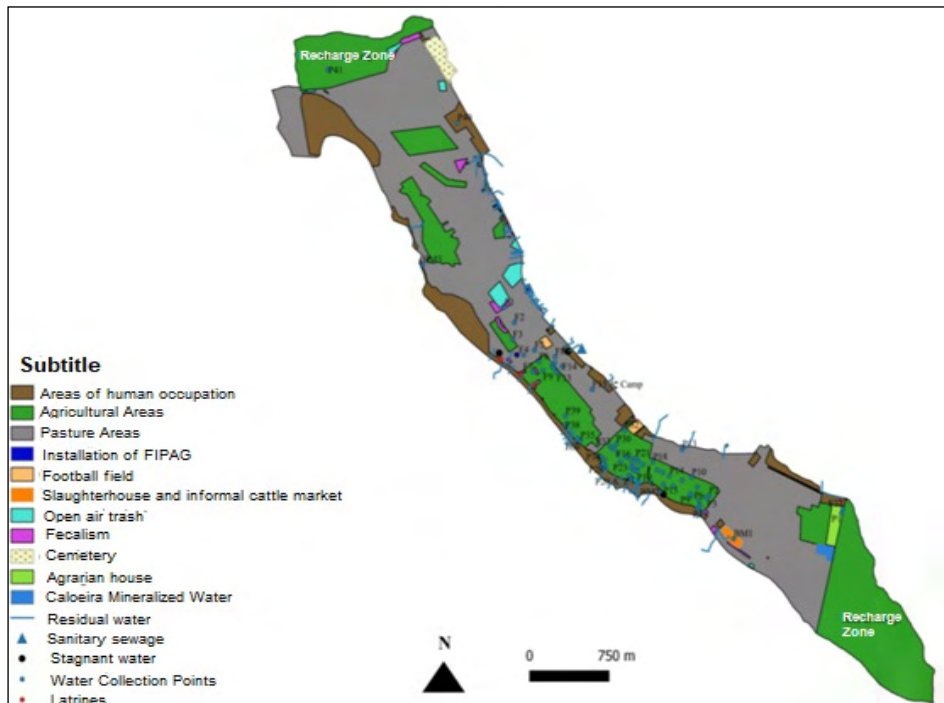



Figure 2: Land occupation in the Nhartanda Valley.

The entire area of the valley is subject to sources of pollution and/or contamination (punctual and diffuse), associated with the lack of basic sanitation in the City of Tete in general, which, in a certain way, influence its environmental and water quality in particula .

3 | OBJECTIVES

3.1 General

• Assess the groundwater quality of the Nhartanda Valley Aquifer System, Tete City;

3.2 Specific

• Present the physical-geographic characteristics of the Nhartanda Valley;

• Identify the factors that contribute to the deterioration of the water quality of the Nhartanda Valley aquifer system;

• Propose strategies to safeguard the water quality of the Nhartanda Valley.

4 | METHODOLOGIES

The study was carried out in different stages. To materialize the purposes of each

phase, a set of carefully selected methods and techniques were applied.

In a first phase, a survey of past works of characterization and investigation of the study area was carried out, which allowed for a better understanding of it.

The second phase included field surveys, through recognition of the study area. At this stage, in addition to the registration of 67 water catchment points (26 holes and 41 wells and 26 water points selected for sampling, 11 wells and 15 holes) and potential sources of pollution/contamination with the aid of the GPS receiver Garmin 64s, the measurement of the depth of the wells and the water table and the mapping of the use and occupation of the land were also carried out.

The third phase consisted of office work, which included the application of a set of Geo-technologies (Google Earth/Pro and Qgis 2.14 and ArcGis 10.3, GPSVisualizer) which allowed the integration and compilation of cartographic data.

Finally, the natural characteristics of the water were determined for each georeferenced and selected sampling point, carried out in two different ways: (i) "*In Situ*", some organoleptic characteristics (taste and odor) and physico-chemical properties were determined such as temperature (T ºC), pH, electrical conductivity (EC), turbidity (NTU) and total dissolved solids (TDS), using a portable multiparametric meter brand HANNA model HI 9829 (ii) laboratory analysis to determine the chemical and biological properties. For these, at each sampling point, approximately 1L of water was collected, with equipment and appropriate and previously sanitized containers, packed in coolers and transported to the laboratory (fig. 3)

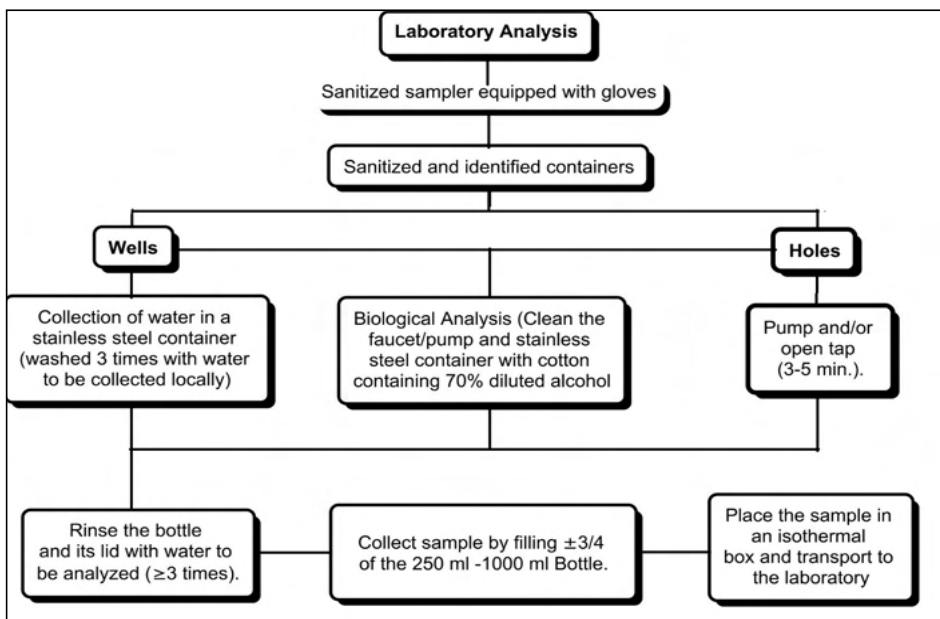



Figure 3: Sample collection, packaging and transport process.

In the laboratory, some chemical and biological parameters were determined, previously selected in accordance with the existing conditions in the Laboratory of the Water Supply Investment and Heritage Fund (FIPAG), City of Tete, and with the proper care in order to preserve the properties of the samples (fig.4)

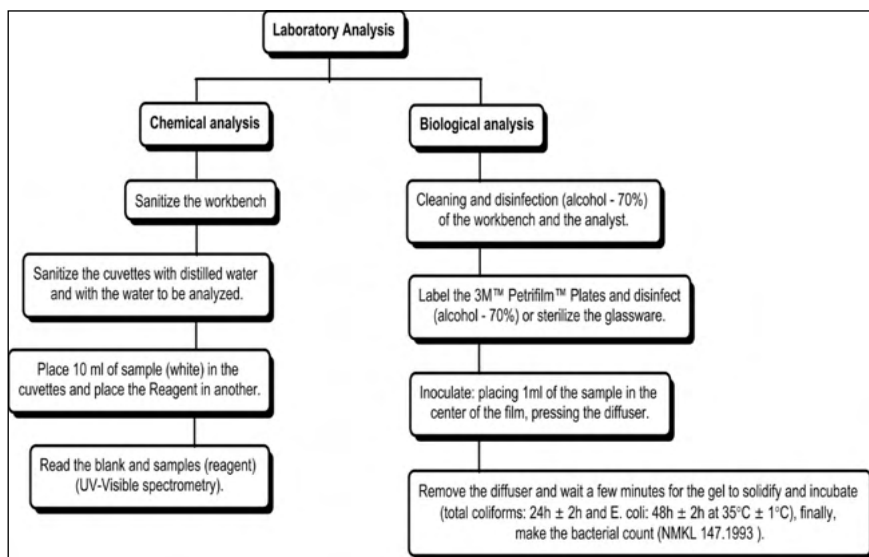



Figure 4: Laboratory procedures for chemical and biological analysis of water.

With the exception of salinity, which was obtained by a Hach portable multiparameter, model HQ 14d, the remaining parameters such as alkalinity, total hardness and content of the elements of chloride, calcium, nitrate, nitrite, ammonia, total iron and manganese were obtained by UV-Visible Spectrophotometry, using a multiparameter Bench Photometer, brand HANNA, model HI 83200.

All laboratory work was carried out with the utmost care and precision as possible so as not to influence/change the results obtained, as well as protecting the analyst through the use of adequate protection means (gloves, masks, gowns, glasses). The laboratory analyzes (chemical and biological), associated with “In Situ” allowed to characterize and evaluate the water quality of the Nhartanda Valley aquifer system.

5 | RESULTS AND DISCUSSION

Water quality is a determining factor for the health of the human population. For SILVA, HORA & OLIVEIRA (2017), for the analysis of water quality, a set of characteristics, usually measurable, of a nature where their characteristics must be kept within certain limits, which are represented by standards, guiding values, must be observed, water quality,

sediment and biot. The averages of the results obtained in "In Situ" and laboratory analyses of the raw water samples collected in wells (P) and boreholes (F) and/or hand pumps (B) of Nhartanda Valley are presented below.

5.1 Physico-chemical and organoleptic parameters

The physico-chemical and organoleptic parameters refer to indirect measurements of elements present in water, which may or may not be toxic to the environment and man (CNA, 2007). Within these, the following were considered (Tab.1).

	Color	Taste	Odor
	<15 uH (Hazen units)	salty	Iron in holes and clay in wells
MAV	<15 uH	Odorless	Insipid

Table 1: Organoleptic parameters.

It is important to note here that the color measurement was carried out about 10 years ago. The lack of a photometer or colorimeter makes the evaluation of this parameter based on macroscopic observation.

Although Taste and Odor can be used as an indicator or warning sign for the occurrence of unwanted substances, its assessment is quite subjective, which makes it difficult to establish admissible limit values (M V) for these organoleptic characteristics.

5.2 Physical-chemical parameters

Generally in groundwater, the temperature is conditioned by the materials through which it circulates, that is, by the geothermal degree, but due to the reduced depth of the Nhartanda aquifer, this is strongly influenced by the atmospheric temperature (able 2).

The high turbidity (except B_1 and B_3) is observed in the rainy season, favoured by the intense agricultural activity that promotes the removal/erosion of the soil. This situation contributes to high levels of CE and TDS (except B_1, P_{20} and P_{31}) (Tab.2).

	Tº C	**Turbidity (NTU)**	**EC (µS/cm)**	**TDS (mg/l)**	**Alkalinity (mg/l)**	**Total hardness (mg/l of $CaCO_3$)**
	Orthothermals Hypothermals	5,1-40 Wells; 2,1- 32,1 Holes	601-3090 Wells; 724-2408 Holes	300-1200	135-250 Wells 150-400 Holes	150-320
MAV		5 NTU	50-2000	1000		500
	Salinity (%)	Chlorides (ml/g)	Calcium (mg/l)	Manganese	Total Iron (mg/l)	Nitrite
	0,2 - 1,2	120 – 475	20-120	0,003-0,02	0,2 – > 1,04	1,8-15,7
MAV	<0,5%	250	50	0.1	0,3	0,3

	Ammonia (mg/l)		pH			
	0,14-0,91		7.14 -7.99			
MAV	1,5		6.5 e 8.5			

Table 2: Results of the analysis of the Nhartanda Valley's physico-chemical parameters.

The water from the Nhartanda Valley aquifer system has a total hardness with values between 105 and 320 mg/L of $CaCO_3$ and is classified as moderately hard, hard and very hard water. The total hardness results will be related to the brackish water mixture (except P_{11}, P_{13}, P_{18}, P_{41}, F_1 and F_3, with records in F_{18}, F_{22} and B_1.) from the Valley water – sandstone water interaction. This healthiness can also be related to high temperature throughout the year (causing water evaporation and salt concentrations), which can contribute to high salinity. Other factors such as over exploitation (which allows the saline wedge to advance) and the dissolution of calcite, halite, dolomite and gypsum, not only contribute to the salinization of the aquifer, but also to the high levels of Chlorides (except B_1, P_4, P_{11}, P_{13}, P_{18}, P_{20}, P_{31}, P_{38}, P_{40} and P_{41}) and Calcium (F_8, F_9, F_{10}, F_{12}, F_{14}, F_{18}, F_{22}, P_{13}, P_{22}, P_{31}, P_{38}, P_{40} and P_{41}) (Tab.2).

Iron and manganese cations, metallic elements abundant in nature, through water infiltration through soil and rocks, are dissolved and become part of groundwater (FEITOSA & FILHO, 2010). In Nhartanda, the Fe contents far exceed those of Mn and the majority (61.5%) exceeds the MAV. The highest total Fe value is found in boreholes and exceeds 1.04mg/l and is associated with: (i) water residence time in interrupted or obstructed boreholes; (ii) nature and care of machines and accessories, as well as introduction of iron-bacteria during drilling; (iii) obsolescence and/or lack of sanitation in the materials that make up the holes (Tab.2).

As for the nitrogenous species (Nitrates, Nitrites and Ammonia), which constitute the occurrence of nitrogen in water, it is important to refer to the concentration of nitrates and nitrites in which some samples exceed the MAV's (LIMA, 2010). With the exception of water from F_3, F_6, F_8, F_{10}, B_1 and B_3 as well as that of P_1, P_{11}, P_{40} and P_{41}, the NO_3^- contents in the Nhartanda Valley groundwater are higher than the MAV. These high levels are strongly associated with the leaching process, from soils with fertilizers and fertilizers applied in agricultural activities and also to urban effluents and human excreta. Nitrite contents, in turn, are related to those of nitrates in the waters, and vary between 1.8 and 15.7 mg/L, in the waters of wells and wells in the Nhartanda Valley. In both boreholes and wells, the NO_2^- content exceeds the MAV, indicating serious pollution/contamination problems in the Nhartanda Valley (Table 2).

5.3 Biological parameters

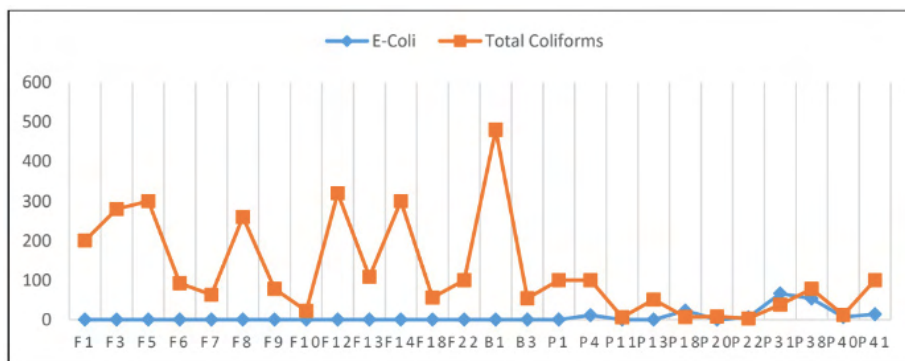
The biological parameters of water result from the relationship between aquatic

organisms and the environment in which they occur and allow the detection of potential pollutants/contaminants not identifiable through physical-chemical and organoleptic characteristics.

Water for human consumption cannot contain pathogenic microorganisms and must be free of bacteria that indicate faecal contamination. This is possible to assess through the presence of coliforms (because of the ease of detecting and quantifying), in which the bacterium Escherichia coli is one of the main indicators (FUNASA, 2006).

The detection and quantification of all pathogenic microorganisms potentially present in water is arduous, time-consuming and costly, as it involves the preparation of different culture media and it is not always possible to obtain positive results or to confirm the presence of the microorganisms. These difficulties result from the fact that certain organisms are intolerant and others tolerant, depending on their ability to survive in new environmental conditions (FUNASA, 2014).

Therefore, easily identifiable organisms were selected for the Nhartanda Valley, whose occurrence in the water is correlated with the presence of pathogenic organisms – called indicator organisms (Escherichia coli and total coliforms). Bacterial counting was also carried out.

Graph 1 shows that groundwater in the Nhartanda Valley contains bacteria, whose amounts (43 – 1 000 000 CFU - colony forming units) and nature vary considerably with location and environmental conditions.

Graph 1: E-Coli and total Coliforms.

The holes are free of E-Coli, unlike the wells (except P_1, P_{11}, P_{13} and P_{20}) which have quantities ranging from 6 (P_{22}) to 66 (P_{31}). Total coliforms occur in both borehole and well water, with greater amounts in the latter. With the exception of water from holes F_6, F_7, F_9, F_{10}, F_{18}, B_3, P_{11}, P_{13}, P_{18}, P_{20}, P_{22} P_{31}, P_{38} and P_{40}, the remaining sampling points have quantities greater than 100 Colony Forming Units (CFU) of total coliforms.

The values of the organoleptic and physico-chemical parameters, associated with

the biological ones, indicate that the water is polluted and may be contaminated. This deterioration can be caused by several factors (fig. 5)

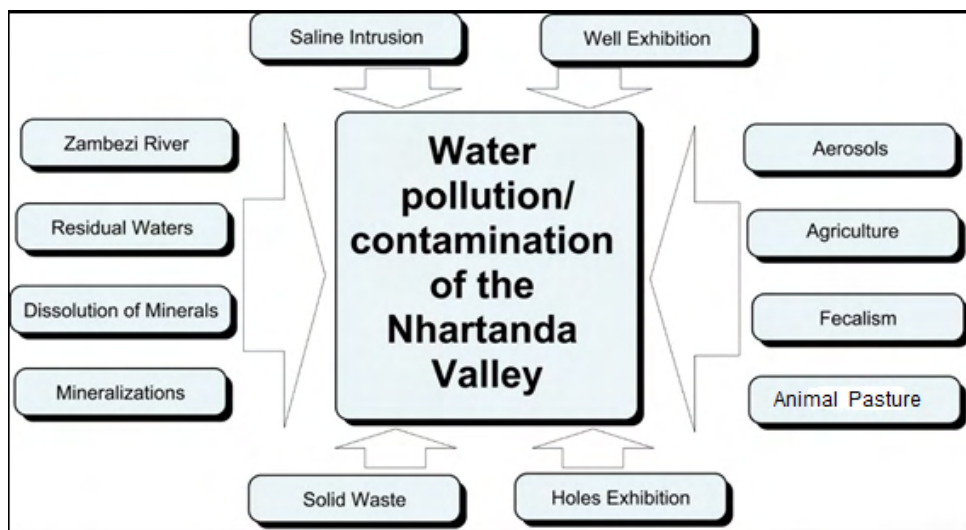



Figure 5: Factors of water quality deterioration in Nhartanda.

The Nhartanda Valley aquifer system is infested by various sources of pollution/point and/or diffuse contamination, both natural and those that are the result of human action that, directly or indirectly, greatly affect the quality of the water. Hence, a set of actions must be carried out in order to preserve that hydro-treasure of Tete City. Among these actions we can cite Environmental Education as its salvation.

CONCLUSION

The Nhartanda Valley aquifer system has a high vulnerability and susceptibility to pollutants and/or contaminants. This situation, combined with the physical characteristics of the aquifer and the local natural conditions, allow a large part of pollutants/contaminants (bacteria, viruses and other substances) to easily reach the aquifer causing several analyzed parameters to be above the MAV, thus creating a "*Water stress*".

The presence of potentially polluting/contaminant activities along the Valley and adjacent areas, associated with pollution of the Zambezi River, agriculture and livestock, waste disposal and the practice of open defecation, proximity to pits and latrines and inadequate construction of wells as well as the lack of protection of the wells also contribute to the degradation of the water quality.

Given this scenario, a set of actions are needed in order to protect the Nhartanda Valley's groundwater and, consequently, public health. These actions should be joint,

involving the Municipality of Tete City, the Provincial Directorate of Public Works, Housing and Water Resources of Tete, Ara Zambeze, FIPAG, Residents of adjacent areas and Civil Society, starting with the socio-environmental awareness of all stakeholders and involving them in all activities to protect that source.

Finally, this shows that it is very important to understand that groundwater is not an invulnerable and inexhaustible source and that its pollution/contamination poses serious risks to the existence of life.

BIBLIOGRAPHY

1. COBA. **Sistemas de Abastecimento de Água de Tete e Moatize. Plano Director e Projecto de Execução - Enquadramento Geológico e Recursos Hidrícos Subterrâneos**, Tete. 194p., 2012;

2. COBA. **Sistemas de Abastecimento de Água de Tete e Moatize. Plano Director e Projecto de Execução - Qualidade da Água Para Abastecimento**. Tete. 37p. 2013;

3. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA – CNA. **Manual de Agua Potable, Alcantarillado Y Saneamiento - Diseño De Plantas Potabilizadoras Tipo De Tecnología Simplificad** . México. 329p. 2007;

4. FEITOSA, F.A.C; FILHO J.M. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. 2ed. Brasil. 404p. 2000;

5. FUNASA. **Manual Prático de Análise de Água**. Brasília, 147p. 2006;

6. FUNASA. **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS**. 1ª ed. Brasília. 116p. 2014;

7. LIMA A. **Composição e Origem das Águas Minerais Naturais – Exemplo de Caldas da Saúde**, Portugal, 235p. 2010;

8. MUCHANGOS, A. **Moçambique, Paisagens e Regiões Naturais, Maputo – Moçambique**. 159p. 1999;

9. SILVA, R. A.; HORA, H. R. M. ; OLIVEIRA, V. P. S**. Georeferenciamento dos índices de qualidade da água subterrânea na foz das bacias do Paraíba do Sul e Itabapoana (Brasil)**. Águas Subterrâneas, 2017;

10. WE CONSULT **Estudo Hidrogeológico detalhado para Monitorização do sistema aquífero do Vale de Nhartanda - Cidade de Tete - Relatório sobre o Plano da Rede de Monitoramento do Sistema Aquífero**, Tete. 64p. 2016.

CAPÍTULO 2

ESTIMACIÓN DE LA PLATAFORMA ENERGÉTICA SOLAR DISPONIBLE EN LA REGIÓN DE LOS LLANOS DE VENEZUELA

Data de aceite: 01/02/2022

Uxmal Amezquita
Tesistas del Instituto Universitario de Tecnología del Oeste Mariscal Sucre (IUTOMS), Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Venezuela, Dirección de contacto: Avenida Los Jabillos cruce con calle Las Flores
Sabana Grande, Caracas - Venezuela

Julio Alvares

Yesika Hurtado

Carlos Ulloa

María Varela

RESUME: El objetivo de estimar la plataforma energética solar disponible de la Región de los Llanos Venezolanos la cual esta conformada por los Estados Anzoátegui, Apure, Barinas, Cojedes, Guárico, Lara y Portuguesa, fue obtener valores procesados de radiación solar global (H), directa (Rdir) y difusa (Rdif) a fin de conocer su comportamiento para usos de tecnologías solares. Se procesaron los datos promedios diarios de H para un periodo de 5 años por cada una de las 21 estaciones meteorológicas pertenecientes a zonas bioclimáticas distintas de los Estados mencionados y se determinaron los valores de Rdif y Rdir por dos modelos (Erbs y Collares Pereira Ralb). Se analizaron las gráficas de comportamiento de las radiaciones con base a los promedios mensuales. Entre las conclusiones están: La mayor H por Estado fue 18,21MJ/m2 (Guárico), 17,18MJ/m2 (Apure), 16,50MJ/m2 (Lara) y la mayor por región 18,80MJ/m2 (Cojedes) y la mayor Rdif (ERBS) por Estado fue 10,76MJ/m2 (Anzoátegui), 11,40MJ/m2 (Apure) y 11,49MJ/m2 (Cojedes) y la mayor por región 11,51MJ/m2 (Lara).
PALABRAS CLAVES: Análisis energético, Radiación global, Radiación difusa.

ABSTRACT: The objective of estimating the available solar energy platform of the Venezuelan Llanos Region, which is made up of the Anzoátegui, Apure, Barinas, Cojedes, Guárico, Lara and Portuguesa States, was to obtain processed values of global solar radiation (H), direct (Rdir) and diffuse (Rdif) in order to know their behavior for uses of solar technologies. The daily average data of H for a period of 5 years for each of the 21 meteorological stations belonging to different bioclimatic zones of the mentioned States were processed and the values of Rdif and Rdir were determined by two models (Erbs and Collares Pereira Ralb) . Radiation performance graphs were analyzed based on monthly averages. Among the conclusions are: The highest H by State was 18.21MJ / m2 (Guárico), 17.18MJ / m2 (Apure), 16.50MJ / m2 (Lara) and the highest by region 18.80MJ / m2 (Cojedes) and the highest Rdif (ERBS) by State was 10.76MJ / m2 (Anzoátegui), 11.40MJ / m2 (Apure) and 11.49MJ / m2 (Cojedes) and the highest by region 11.51MJ / m2 (Lara) .
KEYWORDS: Energy analysis, Global radiation, Diffuse radiation.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen diversas tecnologías para la captación y aprovechamiento de energía solar y entre las más usadas se encuentran: la tecnología fotovoltaica, los colectores solares, los concentradores solares, la tecnología solar pasiva (alumbrado, enfriamiento y calefacción de edificios) entre otras. Para ser factibles las tecnologías antes mencionadas, dependen del equipo y de los costos de operación, del porcentaje de radiación solar que puede convertirse en el producto de energía deseado y de la cantidad de radiación solar disponible en el sitio de colocación, y es por ello que resulta fundamental en primera instancia, tener acceso a datos precisos de la radiación solar ya que mientras se conozcan los recursos de energía solar con más exactitud, tanto más se podrá perfeccionar los sistemas de energía solar y su selección. Por lo tanto, la obtención de los datos en forma exhaustiva, bien detallados sobre radiación solar, así como su forma de procesamiento es un factor esencial en el diseño de sistemas de energía solar. De lo anterior se infier que la simulación del comportamiento dinámico de esos sistemas de energía solar a lo largo del tiempo es altamente necesaria para establecer su eficiencia, su desempeño y su confiabilidad. Para ello se requiere, entre otras variables que intervienen en un estudio de esa naturaleza tanto del conocimiento riguroso, como la contribución de las componentes directa y difusa de la radiación solar global medida en la superficie de la tierra

Sobre la atmósfera se recibe un promedio de radiación solar (constante solar) de 1367 W/m2, valor establecido por la Organización Mundial de Meteorología, pero a nivel del suelo la radiación varía entre 0 a 1000 W/m2. Esta atenuación de los valores de radiación y su variabilidad en el tiempo se debe a varios factores, como son los efectos de absorción y difusión de la atmósfera, los astronómicos, los meteorológicos y el tipo de vegetación. Es por ello que para dos lugares que presenten las mismas características astronómicas (solo variando la longitud), no deberían presentar los mismos niveles de radiación solar global, directa y difusa.

El presente trabajo analiza el comportamiento en el tiempo de la radiación solar global, directa y difusa (usando herramientas de cálculo y estadísticas) de 21 estaciones meteorológicas diseminadas a lo largo y ancho de la región de los Llanos Venezolanos, cuya zona bioclimática predominante es la Tropical de Sabana y están distribuidas estratégicamente entre los Estados: Anzoátegui, Apure, Barinas, Cojedes, Guárico, Lara y Portuguesa (ver Fig.1); todo con el fin de determinar y comparar el potencial energético solar de cada Estado y con base a lo anterior, tratar de estimar (por fusión de datos) el potencial o plataforma energética solar de todo la región de los llanos Venezolanos.

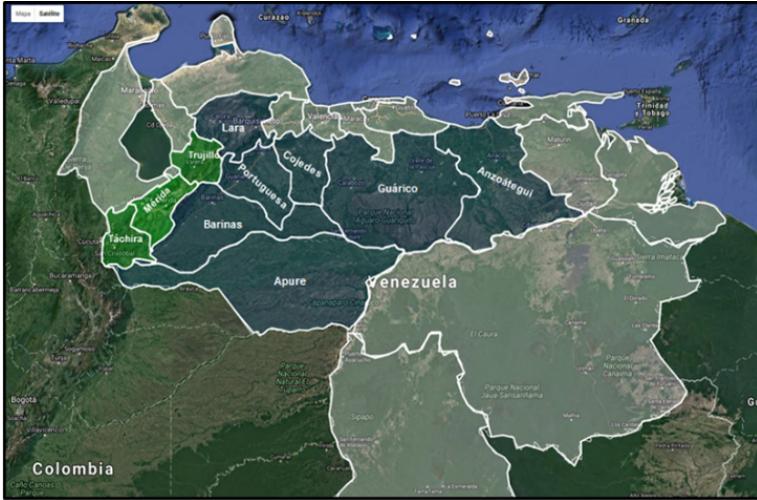



Fig 1. Estados de la Región de los Llanos de Venezuela (azulado oscuro).

MARCO METODOLOGICO

Definición de los Datos y Zonas de Estudio

De las Estaciones Meteorológicas pertenecientes al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) diseminadas a lo largo y vasto de la region de los Llanos en Venezuela, se seleccionaron 21 de ellas por cumplir con los requerimientos para este estudio (insignes del instituto, registro de por lo menos 5 años consecutivos en cada Estación, datos confiables y certificados, gran número de variables meteorológicas, ubicación en zonas bioclimaticas representativas de cada Estado), las cuales fueron las siguientes:

Del Estado Anzoategui

Musinacio	(latitud 7°42´21´´, longitud -64°46´30´´, 52 m.s.n.m, 1984-1988)
La Viuda	(latitud 8°52´0´´, longitud -63°40´0´´, 188 m.s.n.m, 1971-1975)
La Canoa	(latitud 8°37´18´´, longitud -63°51´54´´, 140 m.s.n.m, 1976-1980)
El Tigre	(latitud 8°52´0´´, longitud -64°13´0´´, 265 m.s.n.m, 1998-2002)
La Corcovada	(latitud 10°5´0´´, longitud -64°34´0´´, 90 m.s.n.m, 1991- 1995).

La Zona Bioclimatica (Koppen) predominante en este Estado es: Sabanas herbazales y bosques tropofitos semi-secos

Del Estado Apure

Elorza (latitud 7°3´0´´, longitud -69°29´0´´, 90 m.s.n.m, 1987- 1991).

Bruzual (latitud 8°0´20´´, longitud -69°20´35´´, 80 m.s.n.m, 1986- 1990)

Zona Bioclimatica (Koppen) predominante: selva tipo amazónica con sabanas de bosques húmedos y semi-secos.

Del Estado Barinas

Aeropuerto (latitud 8°36´0´´, longitud -70°15´0´´, 189 m.s.n.m, 1986- 1990)

La Quinta (latitud 8°19´0´´, longitud -70°0´0´´, 165 m.s.n.m, 1993- 1997)

Zona Bioclimatica (Koppen) predominante: sabanas (herbazales) y bosques tropofit sub-húmedos, sabanas herbazales y bosques tropofito semi-secos

Del Estado Cojedes

San Carlos Unellez (latitud 9°41´51´´, longitud -68°35´11´´, 86 m.s.n.m, 1992- 1996),

Zona Bioclimatica (Koppen) predominante: bosques húmedos y sabanas semisecos con templado de altura.

Del Estado Guárico

Guanapito (latitud 9°55´37´´, longitud -66°24´0´´, 422 m.s.n.m, 1981- 1985),

San Juan de los Morros (latitud 9°55´11´´, longitud -67°21´43´´, 433 m.s.n.m, 1981 -1985),

Rio Verde (latitud 9°33´0´´, longitud - 67°40´0´´, 171 m.s.n.m, 1974 - 1978),

Presa Tamanaco (latitud 9°27´2´´, longitud -66°3´56´´, 160 m.s.n.m, 2000- 2004),

Mayalito-Cujialote (latitud 9°32´57´´, longitud -60°12´0´´, 130 m.s.n.m, 1974- 1978),

Valle la Pascua (latitud 9°13´0´´, longitud -66°0´0´´, 184 m.s.n.m, 2000 - 2004),

Biológica Los Llanos (latitud 8°53´0´´, longitud -77°19´0´´, 86 m.s.n.m, 2001- 2005);

Zona Bioclimatica (Koppen) predominante: Sabanas con bosques semisecos y bosques húmedos.

Del Estado Lara

Moroturo (latitud 10°33´2´´, longitud -69°14´19´´, 190 m.s.n.m, 1986- 1990)

Zona Bioclimatica (Koppen) predominante: sabanas y bosques semisecos, desierto

árido y templado de altura.

Del Estado Portuguesa

Banco de los Cedros	(latitud 8°57´0´´, longitud -69°43´0´´,125 m.s.n.m, 2000- 2004).
Experimental las Majaguas	(latitud 9 ° 40´0´´, longitud -68 °59´0´´,149 m.s.n.m, 1978- 1982)
Mesas de Cavacas	(latitud 9°4´0´´, longitud -69°48´0´´, 255 m.s.n.m, 1981- 1985)

Zona Bioclimatica (Koppen) predominante: Sabanas con bosques semisecos y bosques húmedos.

INAMEH suministró los datos promedios diarios de la radiación solar global (H) de los periodos mencionados de cada una de las estaciones seleccionadas (38325 datos en total).

Del Procesamiento de los Datos

Se construyó una base de datos bajo plataforma Microsoft Excel 2007 for Windows con los datos promedios diarios de la radiación solar global (H) suministrados y se ordenaron secuencialmente bajo un esquema diario por mes, por año, por Estacion Meteorologica (esquema fecha calendario). Los datos faltantes (9.8% del total) fueron completados por el promedio aritmetico de la familia de datos de igual fecha calendario del dato faltante.

A partir de la latitud de cada Estación Meteorológica se calculó para cada uno de los 365 días del año el valor de la radiación solar extraterrestre (Ho) (Duffie y Beckman, 1991) y se asoció a cada valor de H con su valor respectivo de Ho según el esquema de fecha calendario. Se determinó el índice de claridad diario (kt) (Duffie y Beckman, 1991) asociado a cada valor de H y de Ho de cada zona, bajo el esquema de fechas calendario. Después se calculó la radiación solar difusa (Rdif) y directa (Rdir) diarias para cada valor de H y kt de cada Estacion Meteorologica, según dos modelos de la referencia internacional el modelo de Erbs (con ws > 81.4º) (Erbs, Klein y Duffie, 1982) y el modelo de Collares – Pereira – Ralb (CPR) (Collares-Pereira y Ralb, 1979). Realizado lo anterior y con la base de datos conformada por los campos H, kt, Ho, Rdif-Erbs, Rdir-Erbs, Rdif-CPR y Rdir-CPR de cada Estaciones Meteorologicas para cada Estado en estudio (268275 datos totales), se procedio con el mismo software (Microsoft Excel 2007 for Windows) a determinar los parametros clásicos estadísticos (promedio aritmético, mediana, moda y desviación típica) en tres diferentes niveles de tiempo base de procesamiento de cada campo por Estación.

El procesamiento de los datos se realizo en tres diferentes bases de tiempo configurados en promedio diario (bajo el esquema de fecha calendario), en promedio mensual y promedio anual para cada uno de los campos, obteniendose el perfil energético solar del área de cada Estacion Meteorológica; luego se fusionaron los datos de todas

las Estaciones correspondientes a un Estado, dando como resultado lo que se denomino zona ficticia del Estado en evaluacion, cuyo fin es el de tener una aproximación al comportamiento macro en cada campo como si fuera el comportamiento real del Estado, de aqui se define la plataforma energetica solar de cada Estado de la Region de los Llanos Venezolanos. Por ultimo para definir la plataforma energética solar de la Región de los Llanos Venezolanos como un todo, se realizo un procedimiento similar al efectuado en cada Estado, de fusion de datos por campo de todas las Estaciones Meteorologicas bajo el esquema de procesamiento de tres diferentes bases de tiempo.

Como resultado de lo descrito anteriormente, se obtuvo tablas de estadísticos por cada campo mencionado, según el tiempo base de procesamiento en cada Estacion Meteorologica de cada Estado y por fusion de datos para la Region de los Llanos en general, esquemas de distribución por frecuencias promedio mensual de los campos de estudio y gráficas de comportamiento mensual. Para el presente artículo por razones de extension del artículo, solo se presentan las tablas de todos los Estados estudiados y solo dos gráficas (Anzoategui y la Region de los Llanos en general) a manera ilustrativa del comportamiento mensual de las variables o campos. No se expresaron ecuaciones en este artículo, ya que pueden ser ubicadas en la referencia bibliográfica

RESULTADOS

Del Estado Anzoátegui

Valores Promedios Mensuales del Comportamiento de la Radiación Solar Extraterrestre, Global, Directa y Difusa (Erbs, Collares-Pereire-Ralb) e Indice de Claridad							
Estado: Anzoátegui			Unidad de Radiación:		MJ/m2		
Mes	Rad. Extraterrestre	Rad. Global	Rad. Directa (Erbs)	Rad. Difusa (Erbs)	Rad. Directa (CPR)	Rad. Difusa (CRP)	Ind. Claridad
Enero	32,52	12,84	3,65	9,20	3,57	9,27	0,40
Febrero	34,82	13,90	3,97	9,93	3,95	9,95	0,40
Marzo	36,99	14,40	3,95	10,45	3,91	10,49	0,39
Abril	37,79	14,35	3,60	10,76	3,52	10,84	0,38
Mayo	37,25	13,63	3,37	10,26	3,33	10,30	0,37
Junio	36,63	12,50	2,40	10,10	2,29	10,22	0,34
Julio	36,78	12,85	2,63	10,22	2,51	10,34	0,35
Agosto	37,33	13,15	2,72	10,43	2,60	10,54	0,35
Septiembre	37,06	14,00	3,49	10,52	3,41	10,60	0,38
Octubre	35,29	13,24	3,23	10,01	3,15	10,09	0,38
Noviembre	32,92	12,65	3,36	9,29	3,21	9,44	0,38
Diciembre	31,64	11,68	2,84	8,84	2,78	8,90	0,37

Tabla 1. Valores promedios mensuales de radiación solar extraterrestre, global, directa y difusa e índice de claridad del Estado Anzoátegui.

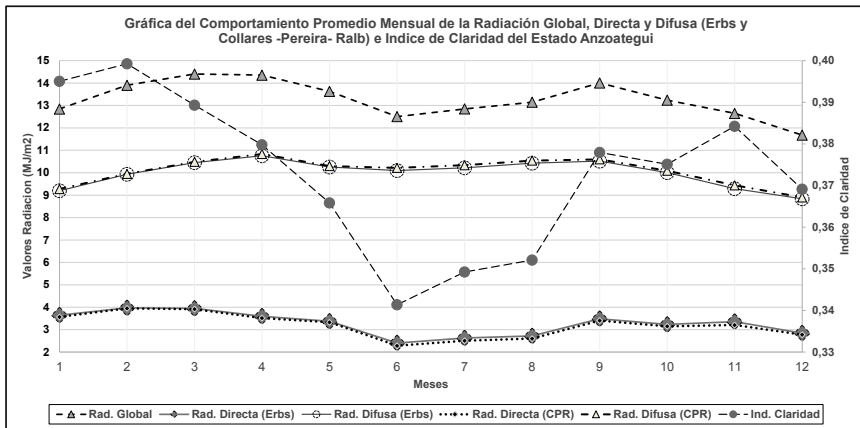



Fig 2. Gráfica de promedios mensuales de radiación solar global, directa y difusa e índice de claridad del Estado Anzoátegui.

Del Estado Apure

Valores Promedios Mensuales del Comportamiento de la Radiación Solar Extraterrestre, Global, Directa y Difusa (Erbs, Collares-Pereire-Ralb) e Indice de Claridad							
Estado: Apure			Unidad de Radiación: MJ/m2				
Mes	Rad. Extraterrestre	Rad. Global	Rad. Directa (Erbs)	Rad. Difusa (Erbs)	Rad. Directa (CPR)	Rad. Difusa (CRP)	Ind. Claridad
Enero	33,12	15,78	5,67	10,11	5,69	10,10	0,477
Febrero	35,26	17,01	6,33	10,68	6,38	10,63	0,482
Marzo	37,17	17,18	5,78	11,40	5,75	11,43	0,462
Abril	37,69	15,64	4,32	11,32	4,21	11,43	0,415
Mayo	36,93	14,37	3,50	10,87	3,37	11,00	0,389
Junio	36,20	13,81	3,19	10,61	3,06	10,75	0,381
Julio	36,40	13,88	3,30	10,58	3,18	10,69	0,381
Agosto	37,14	13,88	3,13	10,76	3,00	10,89	0,374
Septiembre	37,13	14,78	3,81	10,97	3,70	11,09	0,398
Octubre	35,65	14,38	3,81	10,57	3,71	10,67	0,403
Noviembre	33,48	13,73	3,65	10,08	3,53	10,20	0,410
Diciembre	32,29	14,53	4,66	9,87	4,61	9,92	0,450

Tabla 2. Valores promedios mensuales de radiación solar extraterrestre, global, directa y difusa e índice de claridad del Estado Apure.

Del Estado Barinas

Valores Promedios Mensuales del Comportamiento de la Radiación Solar Extraterrestre, Global, Directa y Difusa (Erbs, Collares-Pereire-Ralb) e Indice de Claridad							
Estado: Barinas			Unidad de Radiación: MJ/m2				
Mes	Rad. Extraterrestre	Rad. Global	Rad. Directa (Erbs)	Rad. Difusa (Erbs)	Rad. Directa (CPR)	Rad. Difusa (CRP)	Ind. Claridad
Enero	32,70	12,58	3,00	9,58	2,89	9,69	0,385
Febrero	34,96	12,99	2,95	10,05	2,84	10,16	0,372
Marzo	37,05	12,95	2,56	10,39	2,44	10,52	0,350
Abril	37,76	12,17	2,03	10,14	1,91	10,25	0,322
Mayo	37,16	11,88	1,93	9,95	1,82	10,06	0,320
Junio	36,50	12,34	2,31	10,04	2,19	10,15	0,338
Julio	36,67	12,95	2,68	10,26	2,57	10,37	0,353
Agosto	37,28	13,39	2,72	10,67	2,57	10,82	0,359
Septiembre	37,08	13,26	2,76	10,50	2,63	10,62	0,357
Octubre	35,40	12,50	2,44	10,05	2,31	10,19	0,353
Noviembre	33,09	11,97	2,50	9,47	2,38	9,59	0,362
Diciembre	31,84	12,17	2,84	9,33	2,73	9,44	0,382

Tabla 3. Valores promedios mensuales de radiación solar extraterrestre, global, directa y difusa e índice de claridad del Estado Barinas.

Del Estado Cojedes

Valores Promedios Mensuales del Comportamiento de la Radiación Solar Extraterrestre, Global, Directa y Difusa (Erbs, Collares-Pereire-Ralb) e Indice de Claridad							
Estado: Cojedes			Unidad de Radiación: MJ/m2				
Mes	Rad. Extraterrestre	Rad. Global	Rad. Directa (Erbs)	Rad. Difusa (Erbs)	Rad. Directa (CPR)	Rad. Difusa (CRP)	Ind. Claridad
Enero	32,13	16,98	7,48	9,50	7,69	9,29	0,528
Febrero	33,35	18,14	7,90	10,24	8,11	10,03	0,544
Marzo	36,87	18,80	7,72	11,09	7,87	10,93	0,510
Abril	37,85	16,63	5,14	11,49	5,07	11,56	0,439
Mayo	37,45	16,12	4,73	11,39	4,63	11,49	0,430
Junio	36,89	16,02	4,79	11,23	4,70	11,31	0,434
Julio	37,01	16,50	5,25	11,25	5,20	11,30	0,446
Agosto	37,45	16,63	5,25	11,38	5,20	11,43	0,444
Septiembre	37,00	16,87	5,51	11,36	5,46	11,41	0,456
Octubre	35,06	16,67	5,98	10,69	6,00	10,66	0,475
Noviembre	32,56	16,08	6,25	9,84	6,33	9,75	0,494
Diciembre	31,23	16,09	6,76	9,33	6,91	9,18	0,515

Tabla 4. Valores promedios mensuales de radiación solar extraterrestre, global, directa y difusa e índice de claridad del Estado Cojedes.

Del Estado Guarico

Valores Promedios Mensuales del Comportamiento de la Radiación Solar Extraterrestre, Global, Directa y Difusa (Erbs, Collares-Pereire-Ralb) e Indice de Claridad							
Estado: Guarico			Unidad de Radiación: MJ/m2				
Mes	Rad. Extraterrestre	Rad. Global	Rad. Directa (Erbs)	Rad. Difusa (Erbs)	Rad. Directa (CPR)	Rad. Difusa (CRP)	Ind. Claridad
Enero	32,02	15,81	6,25	9,57	6,33	9,49	0,494
Febrero	34,46	17,18	7,16	10,02	7,26	9,93	0,499
Marzo	36,83	18,21	7,32	10,89	7,40	10,81	0,494
Abril	37,86	16,39	5,04	11,35	4,98	11,41	0,433
Mayo	37,50	15,36	4,19	11,16	4,09	11,27	0,409
Junio	36,95	15,26	4,22	11,03	4,12	11,14	0,413
Julio	37,07	15,92	4,81	11,12	4,73	11,19	0,430
Agosto	37,48	16,20	4,87	11,33	4,79	11,41	0,432
Septiembre	36,98	16,55	5,38	11,16	5,34	11,20	0,447
Octubre	35,00	15,82	5,30	10,52	5,27	10,55	0,452
Noviembre	32,46	15,25	5,58	9,67	5,59	9,66	0,470
Diciembre	31,12	14,79	5,50	9,29	5,52	9,27	0,475

Tabla 5. Valores promedios mensuales de radiación solar extraterrestre, global, directa y difusa e índice de claridad del Estado Guarico.

Del Estado Lara

Valores Promedios Mensuales del Comportamiento de la Radiación Solar Extraterrestre, Global, Directa y Difusa (Erbs, Collares-Pereire-Ralb) e Indice de Claridad							
Estado: Lara			Unidad de Radiación: MJ/m2				
Mes	Rad. Extraterrestre	Rad. Global	Rad. Directa (Erbs)	Rad. Difusa (Erbs)	Rad. Directa (CPR)	Rad. Difusa (CRP)	Ind. Claridad
Enero	31,73	14,07	4,29	9,77	4,21	9,86	0,443
Febrero	34,25	14,66	4,18	10,48	4,07	10,60	0,428
Marzo	36,73	16,27	4,99	11,29	4,90	11,37	0,443
Abril	37,89	15,05	3,65	11,40	3,48	11,57	0,397
Mayo	37,64	14,88	3,61	11,27	3,45	11,43	0,395
Junio	37,14	15,32	4,03	11,28	3,89	11,43	0,412
Julio	37,24	15,84	4,43	11,40	4,30	11,54	0,425
Agosto	37,55	16,50	4,99	11,51	4,89	11,61	0,439
Septiembre	36,93	16,31	5,01	11,31	4,93	11,39	0,442
Octubre	34,82	15,02	4,40	10,62	4,31	10,72	0,431
Noviembre	32,19	13,00	3,28	9,71	3,15	9,85	0,404
Diciembre	30,80	12,92	3,52	9,40	3,40	9,52	0,419

Tabla 6. Valores promedios mensuales de radiación solar extraterrestre, global, directa y difusa e índice de claridad del Estado Lara.

Del Estado Portuguesa

Valores Promedios Mensuales del Comportamiento de la Radiación Solar Extraterrestre, Global, Directa y Difusa (Erbs, Collares-Pereire-Ralb) e Indice de Claridad							
Estado: Portuguesa			Unidad de Radiación: MJ/m2				
Mes	Rad. Extraterrestre	Rad. Global	Rad. Directa (Erbs)	Rad. Difusa (Erbs)	Rad. Directa (CPR)	Rad. Difusa (CRP)	Ind. Claridad
Enero	32,35	14,27	4,33	9,94	4,25	10,02	0,441
Febrero	34,70	14,71	4,11	10,59	3,99	10,71	0,424
Marzo	36,94	15,05	3,89	11,16	3,74	11,30	0,407
Abril	37,82	12,87	2,29	10,57	2,15	10,72	0,340
Mayo	37,34	12,82	2,32	10,51	2,17	10,65	0,343
Junio	36,74	13,09	2,54	10,55	2,38	10,71	0,356
Julio	36,88	13,58	2,86	10,72	2,71	10,87	0,368
Agosto	37,38	13,72	2,83	10,88	2,67	11,05	0,367
Septiembre	37,03	14,02	3,11	10,91	2,95	11,06	0,379
Octubre	35,19	13,80	3,30	10,50	3,16	10,64	0,392
Noviembre	32,76	13,66	3,71	9,95	3,59	10,07	0,417
Diciembre	31,46	13,02	3,45	9,57	3,32	9,69	0,414

Tabla 7. Valores promedios mensuales de radiación solar extraterrestre, global, directa y difusa e índice de claridad del Estado Portuguesa.

De la Región de los Llanos

Valores Promedios Mensuales del Comportamiento de la Radiación Solar Extraterrestre, Solar Global, Directa y Difusa (Erbs, Collares-Pereire-Ralb) e Indice de Claridad							
Región de Estudio: Los Llanos			Unidad de Radiación: MJ/m2				
Mes	Rad. Extraterrestre	Rad. Global	Rad. Directa (Erbs)	Rad. Difusa (Erbs)	Rad. Directa (CPR)	Rad. Difusa (CRP)	Ind. Claridad
Enero	32,37	14,92	5,25	9,67	5,24	9,67	0,461
Febrero	34,54	15,78	5,50	10,28	5,50	10,29	0,457
Marzo	36,94	16,41	5,46	10,95	5,43	10,98	0,444
Abril	37,81	14,79	3,79	11,00	3,68	11,11	0,391
Mayo	37,33	14,24	3,47	10,77	3,35	10,88	0,381
Junio	36,72	14,31	3,61	10,69	3,49	10,82	0,390
Julio	36,86	14,78	3,99	10,79	3,88	10,90	0,401
Agosto	37,37	15,05	4,06	10,99	3,95	11,11	0,403
Septiembre	37,03	15,30	4,34	10,96	4,24	11,05	0,413
Octubre	35,20	14,70	4,28	10,42	4,20	10,50	0,418
Noviembre	32,78	13,95	4,23	9,72	4,15	9,79	0,426
Diciembre	31,48	13,92	4,54	9,38	4,50	9,42	0,442

Tabla 8. Valores promedios mensuales de radiación solar extraterrestre, global, directa y difusa e índice de claridad de la Región de Los Llanos.

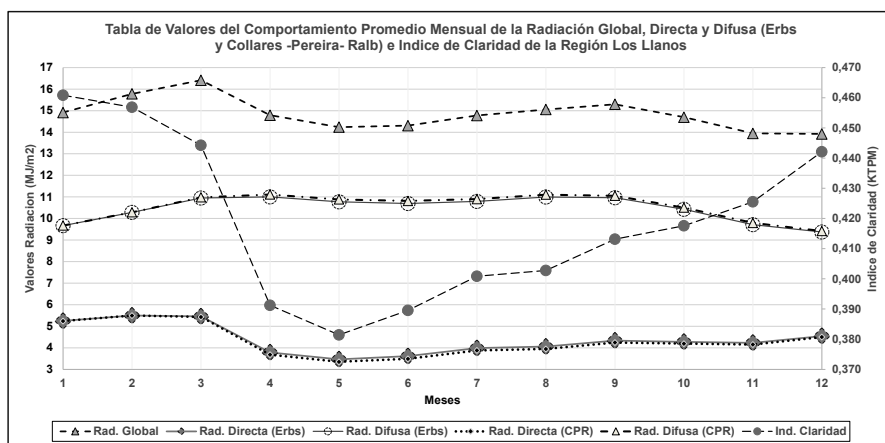



Fig 3. Gráfica de promedios mensuales de radiación solar global, directa y difusa e índice de claridad de la Región de los Llanos.

CONCLUSIONES

• La diferencia porcentual de la radiación solar difusa promedio mensual calculada bajo el modelo de Erbs y bajo el modelo CPR no supera el 5% en el caso mas desfavorable y mantienen una tendencia general menor del 2% en todos los Estados estudiados. Esto indica que por la proximidad de los resultados es indiferente usar uno u otro modelo para el cálculo de la radiacion difusa.

• Las curvas de la variación anual de la radiación solar extraterrestre entre 7º y 10º de Latitud Norte pertenecientes a los Estados de la Region de los Llanos, no presentan variaciones significativas entre ellas. por ende se puede aproximar a una curva promedio.

• Las curvas de la variación anual de la radiación solar difusa pertenecientes a cada Estado de la Region de los Llanos (entre 7º y 10º de Latitud Norte), no presentan variaciones significativas entre ellas, por ende se puede aproximar a una curva promedio.

• No se detectó variaciones notables por efecto estacional en las curvas de variación anual de la radiación difusa de las zonas en estudio.

• El Estado con mayor radiacion global de la región de los Llanos se encontro en el Estado Cojedes con 18,80MJ/m2

• El Estado con menor radiacion global de la región de los Llanos se encontro en el Estado Anzoategui con 11,68MJ/m2

• El Estado con mayor radiacion directa (ERBS) de la región de los Llanos se encontro en el Estado Cojedes con 7,90MJ/m2

• El Estado con menor radiacion directa (ERBS) de la región de los Llanos se encontro en el Estado Barinas con 1,93MJ/m2

• El Estado con mayor radiacion difusa (ERBS) de la región de los Llanos se encontro en el Estado Lara con 11,51MJ/m2

• El Estado con menor radiacion difusa (ERBS) de la región de los Llanos se encontro en el Estado Anzoategui con 8,84MJ/m2

• Se detectó cambios por efecto estacional en las curvas de variación anual de la radiación global y directa de las zonas en estudio.

• La Region de los Llanos Venezolanos (fusión de datos) posee un pico máximo de radiacion solar global de 16,41MJ/m2 y un mínimo de 13,92MJ/m2

• La Region de los Llanos Venezolanos (fusión de datos) posee un pico máximo de radiacion solar directa (ERBS) de 5,50MJ/m2 y un mínimo de 3,47MJ/m2

• La Region de los Llanos Venezolanos (fusión de datos) posee un pico máximo de radiacion solar difusa (ERBS) de 11,00MJ/m2 y un mínimo de 9,38MJ/m2

REFERENCIAS

Alvares J., Hurtado Y., Ulloa C. y Varela M. (2018). “Comportamiento de la Radiación Global, Directa y Difusa en la Región de los Andes y Llanos Venezolanos, partiendo del uso del Índice de Claridad”. Trabajo de Pregrado de Ingeniería. Instituto Universitario de Tecnología del Oeste Mariscal Sucre. Escuela de Ingeniería Mecánica.

Amézquita Z, U. (2005). “Estudio Estadístico de la Radiación Solar Global en el Estado Bolívar y la Influencia de las ariables Meteorológicas en el Índice de Claridad”. Trabajo de Grado de Maestría. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica.

Collares–Pereira, M. and Ralb, A. (1979). “The Average Distribution of Solar Radiation Correlations between Difusse and Hemisferical and between Daily and Hourly Insolation Values”, Solar Energy. Vol 22. pp. 155- 164.

Duffie J.A. and Beckman .A. (1991) *Solar Engineering of Thermal Processes,* 2nd edn. pp. 1-87. Wiley Interscience, New York.

Erbs, D.G., Klein, S.A. and Duffie, J.A. 1982. “Estimation of The Diffuse Radiation Fraction for Hourly, Daily and Monthly – Average Global Radiation”, Solar Energy. Vol 28. Nº 4. pp. 293- 302.

CAPÍTULO 3

MAPEAMENTO DE REGIÕES DE SUSCEPTIBILIDADE DE CONTAMINAÇÃO POR HIDROCARBONETOS PROVENIENTES DE POSTOS DE REVENDA DE COMBUSTÍVEIS EM JOÃO PESSOA - PARAÍBA

Data de aceite: 01/02/2022
Data de submissão: 18/02/2022

Bruno José de Macedo Silva Leite
Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – Paraíba
http://lattes.cnpq.br/7973614376206391

Aline Flávia Nunes Remígio Antunes
Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa – Paraíba
http://lattes.cnpq.br/5165041028391825

RESUMO: É evidente que os postos de combustível apresentam riscos de possível contaminação da água e do solo. Sendo assim, é de interesse público, o mapeamento e estudo desses estabelecimentos para garantir a prevenção contra a contaminação, principalmente, de poços de abastecimento e mananciais. Ademais, a legislação municipal, os critérios e as exigências para obtenção de licenças ambientais, devem estar em consonância com as características físicas locais. Nesta visão, o presente trabalho teve como objetivo estudar a susceptibilidade de contaminação por hidrocarbonetos provenientes de postos de combustível no município de João Pessoa e assim gerar mapas de susceptibilidade elencando as áreas de maior potencial de contaminação e proximidade de postos de combustível de áreas limítrofes de rios. Através, de cruzamento de dados espaciais e bibliográficos de pedologia, hidrogeologia e declividade. Além, de analisar esses pontos com base na legislação vigente. A partir desses resultados, foi possível, de maneira geral, observar e inferir que a maioria dos postos não respeita a distância mínima entre as unidades descritas pela legislação e que a susceptibilidade de João Pessoa varia, em sua maioria territorial, entre alta e crítica. Portanto, o geoprocessamento apresentou-se como uma ferramenta muito eficiente no tratamento desses dados, enaltecendo sua grande contribuição na área de estudos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Posto de revenda de combustível. Susceptibilidade de contaminação. LNAPL.

MAPPING OF REGIONS SUSCEPTIBLE TO CONTAMINATION BY HYDROCARBONS FROM GAS RESALE STATIONS IN JOÃO PESSOA – PARAÍBA

ABSTRACT: It is evident that the gas stations present risks of possible contamination of water and soil, being therefore of public interest the mapping and study of these establishments to guarantee the prevention against contamination of supply wells and reservoirs, mainly. In addition, the municipal legislation, the criteria and requirements for obtaining environmental licenses must be in line with the local physical characteristics. In this view, the present work aimed to study the susceptibility of contamination by hydrocarbons from gas stations in the city of João Pessoa and thus generate susceptibility maps listing the areas of greatest potential for contamination and proximity to gas stations in

areas bordering on rivers, by crossing spatial and bibliographic data on pedology, hydrogeology and slope. In addition to analyzing these points based on current legislation. From these results, it was possible, in general, to observe that most posts do not respect the minimum distance between the units described by the legislation and that João Pessoa's susceptibility varies, mostly territorial, between high and critical. Therefore, geoprocessing was presented as a very efficient tool in the treatment of these data, highlighting its great contribution in the area of environmental studies and monitoring.
KEYWORDS: Gas resale station. Susceptibility to the contamination. LNAPL.

1 | INTRODUÇÃO

A proteção dos recursos naturais de fontes de contaminação proveniente das atividades antrópicas, tem enfrentado diversos desafios com relação à remoção de certos produtos, que são dispostos de maneira irregular no ambiente e que, devido à complexidade do seu comportamento, complexação da sua estrutura e intensidade, podem mudar as características do meio em que incide.

Um dos meios mais afetados é o solo, o qual é bastante susceptível e sofre graves alterações devido ao contato, muitas vezes, direto com os contaminantes. Ademais, o solo serve como caminho para que esses contaminantes atinjam e degradem outros recursos, em especial, as águas subterrâneas que são muito vulneráveis e cuja descontaminação é muito complexa e onerosa.

Nos centros urbanos, o vazamento de Sistemas de Armazenamento Subterrâneo de Combustível (SASC), presentes nos postos de revenda de combustível, tem sido de grande preocupação quanto aos hidrocarbonetos apresentarem risco associados à saúde humana e ao meio ambiente, uma vez que contaminam poços de abastecimento público, mananciais e solos, além da ameaça de incêndio e explosão (Valentino; Carnieto; Souza 2018).

Estes contaminantes, apresentam solubilidade muito baixa em água e são denominados contaminantes orgânicos imiscíveis em água (NAPL – Non-Aqueous Phase Liquids), os quais são subdivididos em mais densos do que a água (DNAPL – Dense Non-Aqueous Phase Liquids) e menos densos (leves) do que a água (LNAPL –Light Non-Aqueous Phase Liquids). Dentro desta classificação, os contaminantes mais frequentes nas áreas de atividade de revenda de combustíveis são os hidrocarbonetos, juntamente com os solventes aromáticos, combustíveis líquidos e metais, os quais compõe os LNAPL (Rocha et al., 2016).

Os LNAPL, por definição, já expressam sua imiscibilidade em água, no entanto, dentro deste grupo, a gasolina e o óleo diesel apresentam em sua composição os BTEX (benzeno, tolueno, etibenzeno e xileno) que são os constituintes com maior solubilidade em água e, portanto, são os contaminantes com maior potencial de poluir o lençol freático nas cidades (Marques; Guerra, 2008).

De acordo com Capalonga (2019), a avaliação de contaminação dos aquíferos é uma ferramenta que auxilia na alocação e gestão de novos empreendimentos, que, no caso, deve ser aplicada para a instalação dos postos de revenda de combustível.

Iritani et al. (2017), complementa que o mapeamento do perigo de contaminação dos aquíferos contribui para a caracterização do uso e ocupação do solo, além de indicar áreas mais propícias para a as atividades antrópicas e perfuração de poços.

Com isso, trabalhos como os de Entezari, Yamani e Aghdam (2016) que aplicaram o método COP para mapeamento em SIG de vulnerabilidade do aquífero Khorein (Irã); Jakada et al. (2018) que aplicaram o método EPIK (Epikarst, Protective cover, Infiltratio condition, Karst network) para gerar o mapa de vulnerabilidade intrínseca (IVM) no aquífero no condado de Condado de Xingshan (China); Lisboa, Mendes e Bello (2016) que utilizaram o método GOD para mapear a vulnerabilidade intrínseca e desenvolveram e aplicaram um modelo multi-criterial fuzzy-AHP para gerar o grau de periculosidade e Li et al. (2018) que utilizaram o método AHP para mapear a vulnerabilidade em um aquífero em Suzhou City (China) à poluentes orgânicos e modelos de mapeamento de vulnerabilidade do aquífero como o DRASTIC desenvolvido por Aller et al. (1987) que utiliza seis parâmetros hidrogeológicos ponderados em uma equação que retorna um índice global adimensional podendo ser usado para comparar a vulnerabilidade de diferentes regiões, além de muitos outros, contribuem para um levantamento informativo das características dos aquíferos e assim gerir de maneira sustentável o crescimento urbano e o uso dos corpos hídricos subterrâneos.

Voltando o olhar, para o município de João Pessoa, localizado no litoral do estado da Paraíba, a frota veicular apresenta em sua malha urbana cerca de 115 postos de revenda de combustível, sendo 6 estando em inatividade (Remígio & Fonseca, 2018), além de um crescimento anual da frota veicular de 4,51% totalizando, no ano de 2019, 406.905 veículos (DETRAN, 2020) o que expressa um fomento ao crescimento do comercio de revenda de combustíveis.

Devido a isto, torna-se de grande preocupação a disposição desses estabelecimentos, visto que as características hidrogeológicas, pedológicas e de declividade do município de João Pessoa, podem contribuir para a percolação de LNAPL provenientes dos postos de revenda de combustível.

Por fim, os softwares de Sistemas de Informações Geográficas (SIGS's) podem ser de grande ajuda para identificar e correlacionar informações a respeito da hidrogeologia, pedologia e declividade da cidade de João Pessoa em face à disposição dos postos de revenda de combustível e, assim, o objetivo desse trabalho busca utilizar software SIG no estudo de susceptibilidade de contaminação por hidrocarbonetos provenientes de postos de revenda de combustível no município de João Pessoa e, assim, gerar mapas de susceptibilidade elencando, as áreas de maior potencial de contaminação e proximidade de postos de revenda de combustível de áreas limítrofes de rios.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O município de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, localiza-se no litoral do Estado e está inserido na Bacia Hidrográfica do Paraíba

João Pessoa, está alocada no setor geomorfológico oriental úmido e subúmido que apresenta planícies flúvio-marinhas, com tabuleiros costeiros com formatos tabulares e terrenos planos constituídos por sedimentos recentes que, por ação dos rios e do mar durante o Quaternário, deram origem às praias (AESA, 2006).

Além disso, apresenta vestígios do bioma mata atlântica concentrado principalmente no Jardim Botânico Benjamin Maranhão (também comumente conhecido como Mata do Buraquinho) e uma ampla rede hidrográfica dentro do limite muni ipal.

2.1 Setorização

Para uma melhor visualização dos locais de susceptibilidade de contaminação por LNAPL, o município de João Pessoa foi dividido em oito setores em formato poligonal, com distância máxima entre os vértices de oito quilômetros, de forma a abranger o máximo da malha urbana e dos postos de revenda de combustível levantados.

Esta divisão, proporciona uma melhor interpretação e revelação das características individuais da área de estudo, como mostrada na Figura 1.

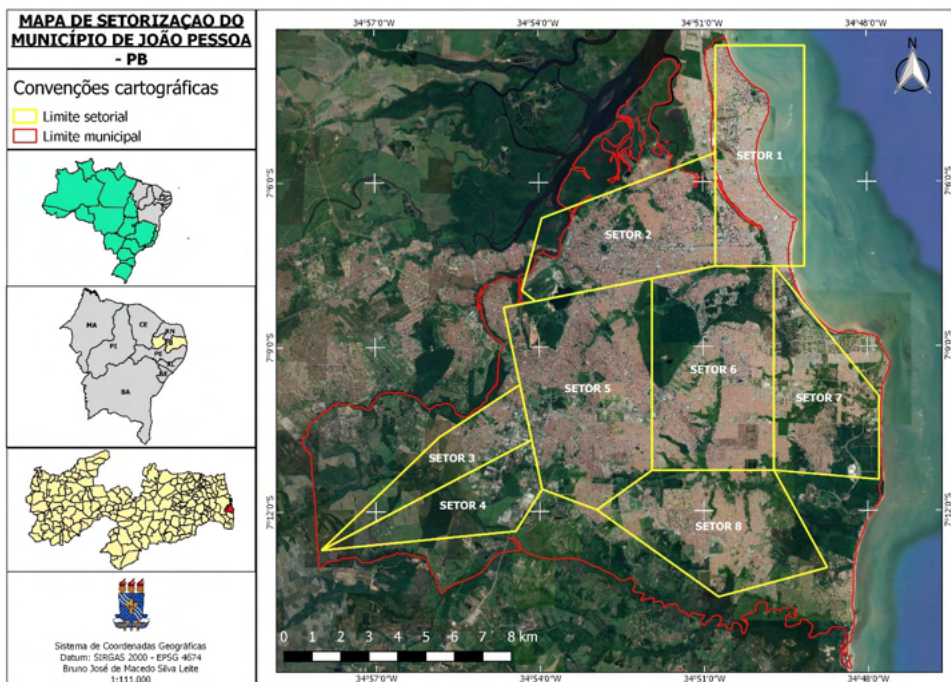



Figura 1. Setorização proposta da cidade de João Pessoa.

Fonte: Autor, 2021.

2.2 Banco de dados

Devido às limitações de equipamentos, é importante salientar que a aquisição de dados foi feita de forma secundária, consultando bancos de dados de órgãos federais e municipais que apresentassem informações espaciais a respeito do município de João Pessoa onde extraiu-se arquivos do tipo shapesfile e raster para a composição dos mapas de suscetibilidade de contaminação por LNAPL.

A declividade, foi gerada através do modelo digital de elevação do satélite Alos Palsar com 12,5 metros de resolução e classificada com base na   MBRAPA, 1979.

A pedologia, foi obtida a partir de arquivo shapefile do IBGE do mapa de solos Folha SB.25 – Natal e analisada junto as informações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) da EMBRAPA de 2018.

Os dados hidrogeológicos, obtidos no repositório virtual do IBGE, aliados com a ajuda do Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (AESA,2006) e com shapefile de poços obtidos pelo repositório SIAGAS do CPRM, ajudaram a obter uma noção geral das condições e composições dos sistemas hidrogeológicos principais dos quais servirão para interpretar a susceptibilidade à contaminação.

Com isso utilizou-se o software QGIS versão 2.18.12, para cruzamento e manipulação dos dados espaciais utilizando o datum SIRGAS 2000.

Vale ressaltar que devido às diferenças entre as escalas de mapeamento dos shapefiles, pode haver problemas relacionados à incompatibilidade das mesmas, fazendo com que os resultados sejam gerais para a região. Porém, podem servir de orientação para levantamento de dados primários e aplicação de métodos de mapeamento de vulnerabilidade intrínseca mais precisos além de indicações de norteamento de possíveis áreas de estudo e construção para postos de revenda de combustível.

2.3 Análise de dados

As classes de susceptibilidade de contaminação por LNAPL foram divididas em seis, denominadas: Crítica, Muito alta, Alta, Média, Baixa e Muito baixa.

Por falta de dados para aplicação de modelos mais concretos para a análise de susceptibilidade de contaminação por LNAPL, foram enquadrados os dados de declividade, pedologia e hidrogeologia nas classes, através de análise interpretativa das referências bibliográficas consultadas e na ocorrência com base nos mapas e arquivos shapefile e raster.

Procurou-se, depreender informações dentro das fontes pesquisadas como: Características do solo como textura, composição e classificação pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2018) para depreender de maneira indireta e qualitativa a porosidade, a permeabilidade (condutividade hidráulica) e a matéria orgânica de forma a concluir se será favorável ou não para a remobilização da fase residual,

percolação e deslocamento dos LNAPL. Características hidrogeológicas, como tipo de aquífero que ocorre na região (livre ou confinado) e litologia, foram obtidas com o objetivo de presumir a exposição dos aquíferos a possível contaminação e facilidade ou dificuldad dos LNAPL adentrar pelo substrato litológico. Por fim, a declividade, extraída do Modelo Digital de Elevação – MDE e em seguida reclassificada com base descrita pela EMBRAPA (1979), que servirá para análise da tendência de percolação ou de escoamento superficia por parte dos LNAPL (Schmidt, 2011 apud Valentino, Carnieto & Souza 2018).

Por fim, aplicou-se a Lei do município de João Pessoa n° 11.600/2009, artigo 5°, inciso V, inserindo os 1.500 m de distância que cada posto de revenda de combustível deve ter em relação aos demais e a Lei federal n° 12.651/2012, artigo 4°, inciso I, para delimitação da faixa marginal dos cursos d'água para, assim, gerar os mapas de susceptibilidade de contaminação por hidrocarbonetos provenientes dos postos de revenda de combustível.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A setorização do município de João Pessoa mostrou-se adequada, pois conseguiu abranger a maioria da malha urbana e todos os 115 postos de revenda de combustível levantados junto com 241 poços de abastecimento, segundo a consulta à plataforma SIAGAS do CPRM.

Vale salientar, que a hidrogeologia se mostrou como fator mais relevante em relação a caraterística dos aquíferos serem medianamente susceptíveis pela sua litologia, conforme apontou as referências bibliográficas consultadas

A análise interpretativa, dos dados secundários e a geração dos mapas, demonstrou que o município de João Pessoa apresenta grandes áreas de susceptibilidade de contaminação por hidrocarbonetos que variam da alta até crítica principalmente nas áreas próximas à faixa litorânea que apresentam classificação de susceptibilidade de alta a crítica, pois são regiões onde a declividade é muito baixa, com solos arenosos e com um sistema de aquífero freático. Ademais, os setores no interior da cidade apresentam, também, baixa declividade e solos do tipo latossolos amarelo distróficos que tem por característica, a ocorrência de materiais argilosos e argilo-arenosos que pode causar uma retenção dos LNAPL a primeiro momento, mas são coesos com boa retenção de umidade e boa permeabilidade facilitando uma mobilização ou remobilização do contaminante, e, como mencionado, a notória rede hidrográfica intermunicipal, presença de aquíferos aluviais que confere, juntamente, considerável susceptibilidade aos corpos hídricos superficiais

Como resultado do levantamento dos dados, gerou-se uma tabela de ocorrência das características físicas nos setores que serviu para a classificação das regiões de susceptibilidade referente a combinação e análise bibliográfica de declividade, pedologia e hidrogeologia observadas em cada setor, as quais são mostradas na Tabela 1:

Declividade	Classificaçã	Setor identificad
0-3%	Plano	(Setor 1) (Setor 2) (Setor 3) (Setor 4) (Setor 5) (Setor 6) (Setor 7) (Setor 8)
3-8%	Suave ondulado	
8-13%	Moderadamente ondulado	
13-20%	Ondulado	
20-45%	Fortemente ondulado	
>45%	Montanhoso e escarpado	

Pedologia	Setor identificad
Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos com Latossolos Amarelos Distróficos e Espodossolos Humilúvicos Hidromórfic	(Setor 1) (Setor 2)
Gleissolos Melânicos Ta Eutrófico	(Setor 3) (Setor 4)
Argissolos Acizentados Distrófico	(Setor 3) (Setor 4)
Argissolos Amarelo Distrófico	(Setor 3) (Setor 4) (Setor 5) (Setor 6) (Setor 7) (Setor 8)

Hidrogeologia	Setor identificad
Sistema Paraíba - Pernambuco Sub-sistema livre	(Setor 3) (Setor 4) (Setor 5) (Setor 6) (Setor 7) (Setor 8)
Sistema Paraíba - Pernambuco Sub-sistema confinad	(Setor 3) (Setor 4)
Sistema Aquífero Aluvial	(Setor 1) (Setor 2) (Setor 3) (Setor 4) (Setor 5) (Setor 6) (Setor 7) (Setor 8)

Tabela 1 Ocorrência das classes de declividade, pedologia e hidrogeologia nos setores.

Fonte: Autor, 2021.

Nessa visão, é possível inferir, através da análise interpretativa dos dados, que o setor 1 e 2 apresentaram, regiões com susceptibilidade a contaminação crítica e os setores de 3 a 8 apresentaram dominância de susceptibilidade de contaminação por hidrocarbonetos de moderada a alta devido, principalmente, a presença de aquífero aluvial e Sistema Paraíba - Pernambuco sub-sistema livre.

Em um panorama geral, as características pedológicas podem causar um retardamento dos LNAPL proveniente da presença de argilas e matéria orgânica, para as classes de solos observadas, mas a existência de matérias arenosos e permeabilidade podem mudar isso. Ademais, as feições hidrogeológicas porosas, livres e próximas aos rios conferem um cenário de atenção e cuidado.

Com relação a aplicação da Lei do município de João Pessoa n° 11.600/2009 artigo 5° inciso V, todos postos de revenda de combustível dos setores 1, 2, 5, 6, 7 e 8 não respeitam a distância de 1.500 m preconizada pela lei.

Ademais, o setor 3 apresentou 1 poço de abastecimento longe da área de influênci do posto de revenda de combustível, o setor 4 apresentou 4 poços, o setor 7 apresentou 7

poços e o setor 8 apenas 1. Isso mostra, que devesse ter uma maior atenção com relação à segurança dos corpos hídricos subterrâneos que residem nesses setores.

Por fim, nenhum posto de revenda adentrou a faixa marginal dos rios como preconiza a Lei federal n° 12.651/2012 artigo 4° inciso I.

Especificamente, os setores 1 e 2 apresentaram expressivamente regiões de susceptibilidade crítica (9,7 e 11,7 km², respectivamente), onde em sua pedologia foi observada argissolos vermelho-amarelos distróficos com latossolos amarelos distrófico e espodossolos humilúvicos hidromórficos que, segundo o SiBCS (EMBRAPA, 2018), expressam características de argilas, material mineral e argilo-arenosos com presença de matéria orgânica e material húmico, o que se pode inferir retenção do contaminante. Porém, ao analisar a hidrogeologia notamos sistema de aquíferos aluviais que são do tipo livre com depósitos de sedimento extremamente porosos e francamente permeáveis (AESA, 2006), o que confere uma região de alta susceptibilidade, além de, também, conter o sistema Paraíba-Pernambuco subsistema livre que também apresentam sedimentos porosos. Por fim, expõe 20 postos de gasolina e 37 poços para o setor 1 e 34 postos e 66 poços para o setor 2, como pode ser observado nas Figuras 2 e 3.

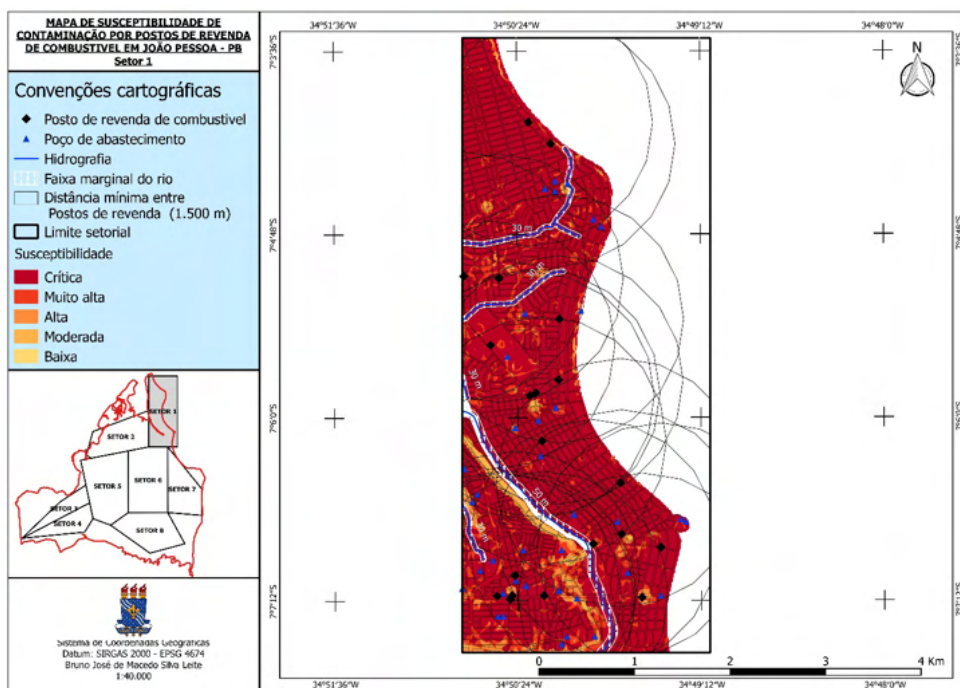



Tabela 2 Mapa de susceptibilidade de contaminação por postos de revenda de combustível em João Pessoa (Setor 1).

Fonte: Autor, 2021.

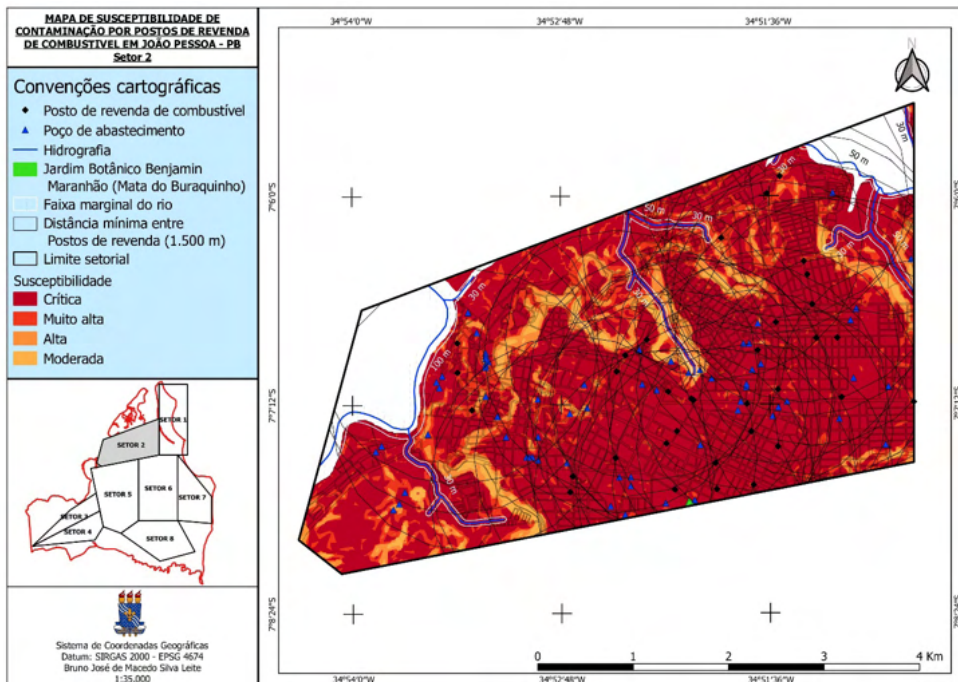



Tabela 3 Mapa de susceptibilidade de contaminação por postos de revenda de combustível em João Pessoa (Setor 2).

Fonte: Autor, 2021.

Em relação aos setores 3 e 4, ambos apresentaram perfis muito semelhantes com apenas um posto de combustível, porém com muitos poços de abastecimento em seu domínio (16 e 17 poços, ao total, no setor 3 e 4, respectivamente). Somado a isso, apresentam regiões de solos do tipo Gleissolos melânicos Ta eutróficos, Argissolos amarelo distróficos e Argissolos acizentados distróficos que, no geral, apresentam materiais minerais, argilosos e areno-argilosos com teores de matéria orgânica e retenção de umidade (EMBRAPA, 2018), além de uma hidrogeologia com presença do sistema de aquífero Paraíba-Pernambuco subsistema livre e confinado o que confere possíveis regiões de muito alta e alta (para o setor 3) e crítica a alta (para o setor 4) susceptibilidade por propor retenção do contaminante, em sua maioria, sendo crítica apenas nas regiões próximas aos rios, os quais estão bem distantes dos postos, devido a presença do sistema de aquíferos aluviais, como pode-se observar nas Figuras 4 e 5.

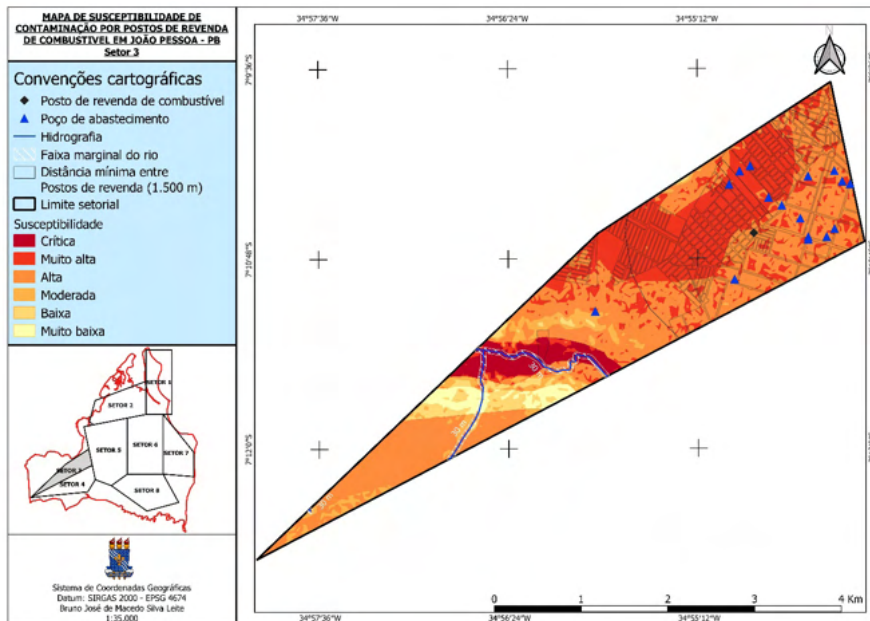



Tabela 4 Mapa de susceptibilidade de contaminação por postos de revenda de combustível em João Pessoa (Setor 3).

Fonte: Autor, 2021.

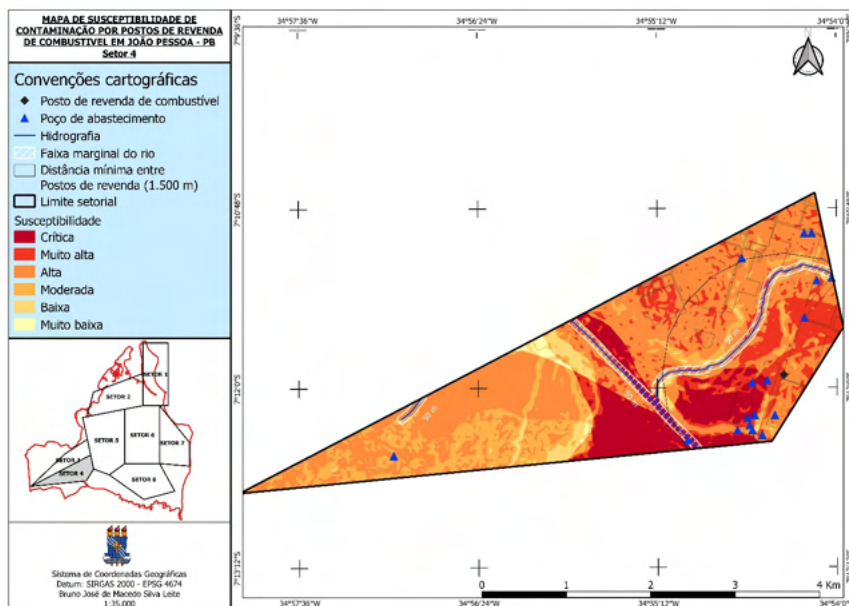



Tabela 5 Mapa de susceptibilidade de contaminação por postos de revenda de combustível em João Pessoa (Setor 4).

Fonte: Autor, 2021.

Observando os setores 5 e 6, ambos apresentam uma grande quantidade de postos de revenda de combustível com 29 e 24 postos e 41 e 36 poços, respectivamente. Possuem, solos do tipo Argissolos amarelo distrófico os quais são constituídos por materiais argilosos e areno-argilosos com boa permeabilidade (solos coesos) (EMBRAPA, 2018) e presença do sistema de aquífero Paraíba-Pernambuco subsistema livre e aquífero aluvial, devido a expressiva quantidade de rios nesses setores somados a presença e proximidade de postos ao Jardim Botânico Benjamin Maranhão fragmento pertencente ao bioma Mata Atlântica. Apesar desses fatores, os postos de revenda de combustível dos dois setores não se encontram dentro da faixa marginal dos rios, mas os rios estão contidos nos limites de 1.500 m dos postos sendo necessário atenção. Por fim, devido as características pedológicas e hidrogeológicas, de ambos os setores apresentam, em sua maioria, susceptibilidade muito alta (13,9 e 11,4 km², respectivamente, para os setores 5 e 6) e alta (18,7 e 13 km², respectivamente, para os setores 5 e 6), como pode ser observada nas Figuras 5 e 6.

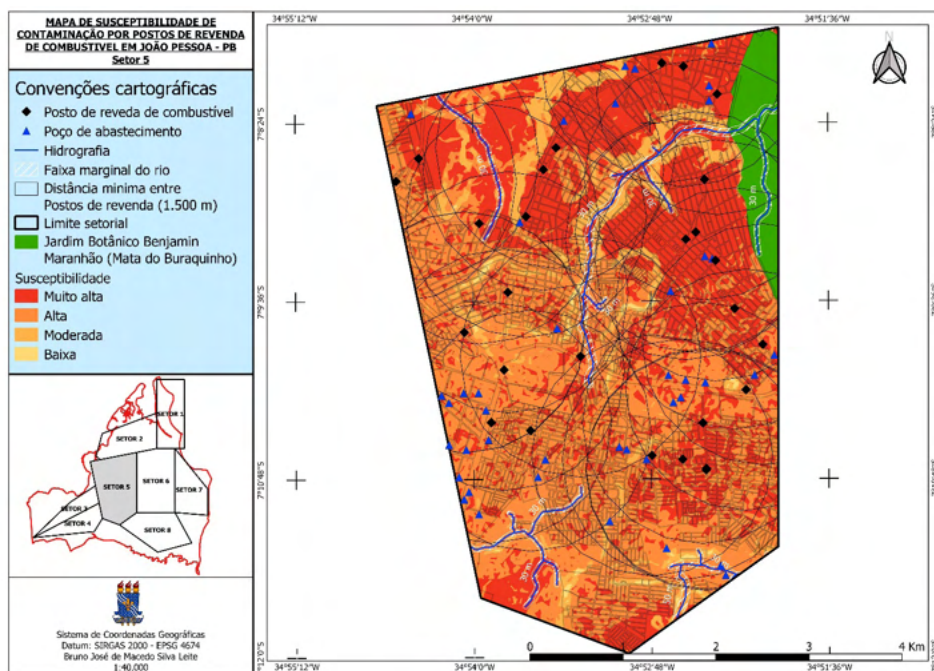



Tabela 6 Mapa de susceptibilidade de contaminação por postos de revenda de combustível em João Pessoa (Setor 5).

Fonte: Autor, 2021.

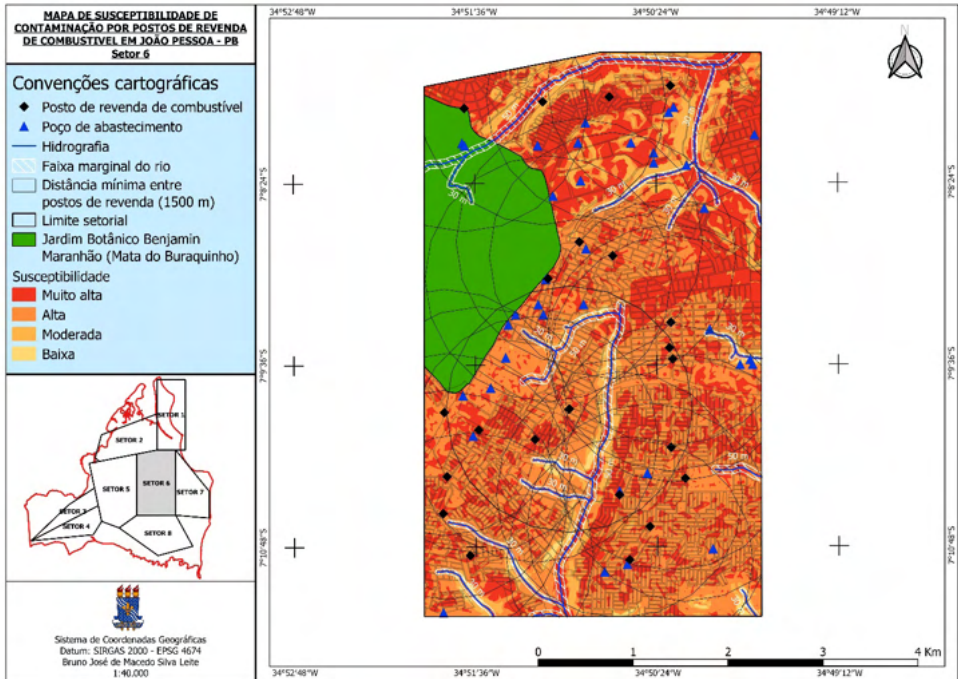



Tabela 7 Mapa de susceptibilidade de contaminação por postos de revenda de combustível em João Pessoa (Setor 6).

Fonte: Autor, 2021.

Por fim, os setores 7 e 8 apresentam poucas unidades de postos de revenda de combustível, sendo 2 e 4 postos identificados, e 16 e 12 poços, respectivamente; pedologia argissolos amarelos distróficos e hidrogeologia do sistema de aquífero Paraíba-Pernambuco subsistema livre e aquífero aluvial, apresentando em sua maioria susceptibilidade muito alta e alta, como identificado nas Figuras 8 e 9

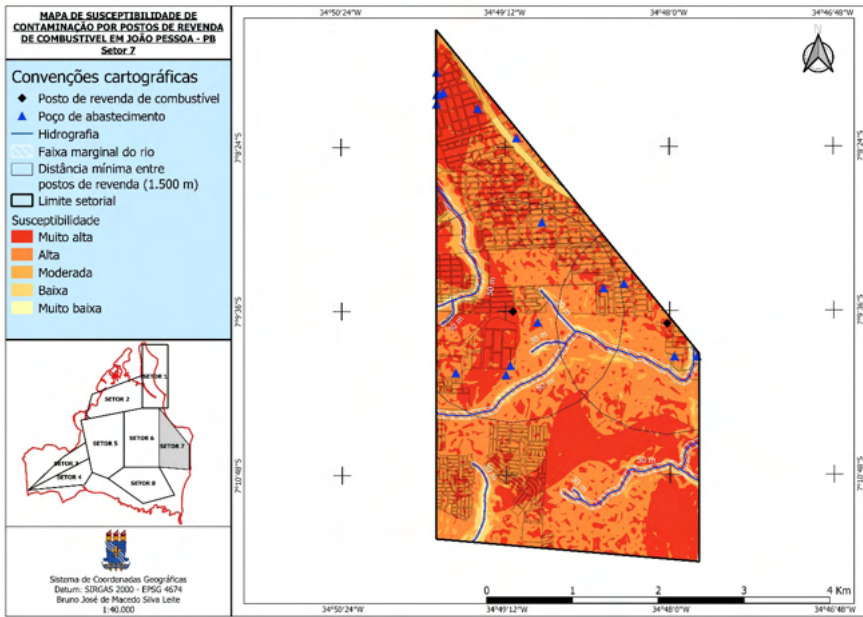



Tabela 8 Mapa de susceptibilidade de contaminação por postos de revenda de combustível em João Pessoa (Setor 7).

Fonte: Autor, 2021.

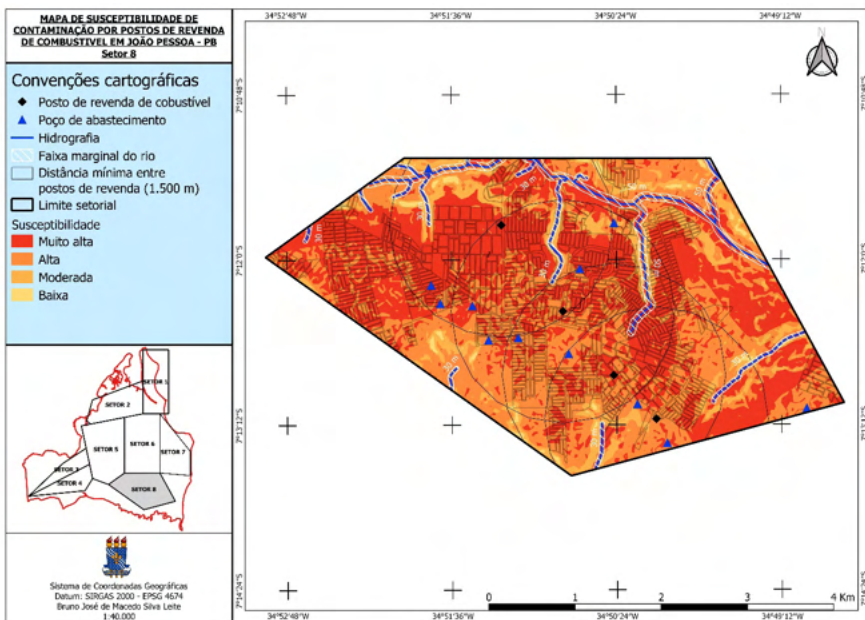



Tabela 9 Mapa de susceptibilidade de contaminação por postos de revenda de combustível em João Pessoa (Setor 8).

Fonte: Autor, 2021.

Desta forma, depreendesse dos resultados gerados que a região de estudo apresenta, respectivamente, maioria alta, muito alta e crítica (40,1%, 35,1% e 15,6%), expressando, assim, declividades baixas (característico da geomorfologia de tabuleiro costeiro com formatos tabulares), hidrogeologia porosa, sedimentar e freática do Sistema Paraíba - Pernambuco sub-sistema livre e aquíferos aluviais com níveis baixos por estarem próximos a rios ou a região litorânea e pedologia com argissolos vermelho-amarelos distróficos e argissolo amarelo distrófico, que apresentam nessa região, segundo a bibliografia, boa coesão. A ocorrência espacial das classes de susceptibilidade pode ser visualizada na Tabela 2:

	Crítica		Muito alta		Alta		Moderada		Baixa		Muito baixa	
	Área Km²	%	Área Km²	%	Área Km²	%	Área Km²	%	Área Km²	%	Área Km²	%
Setor 1	9,7	6,5	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1	0,003	0,002	0	0
Setor 2	11,7	7,8	3,0	2,0	1,4	1,0	0,6	0,4	0	0	0	0
Setor 3	0,4	0,3	2,9	1,9	4,0	2,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
Setor 4	1,4	1,0	1,8	1,2	5,5	3,7	1,7	1,1	0,4	0,3	0,1	0,05
Setor 5	0	0	13,9	9,4	18,7	12,6	2,9	2,0	0,2	0,1	0	0
Setor 6	0	0	11,4	7,6	13,0	8,7	2,7	1,8	0,2	0,1	0	0
Setor 7	0	0	6,8	4,6	8,2	5,5	1,1	0,7	0,3	0,2	0,001	0,001
Setor 8	0	0	11,0	7,4	8,4	5,6	1,9	1,3	0,2	0,2	0	0
Total parcial	23,3	15,6	52,3	35,1	59,7	40,1	11,7	7,9	1,6	1,1	0,3	0,2
Total (Área, %)	148,9						100					

Tabela 2 Quantificação das classes de susceptibilidade de contaminação nos setores.

Fonte: Autor, 2021.

4 | CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que:

- O geoprocessamento nos softwares SIG é uma ferramenta essencial para os estudos de impactos ambientais, gerando informações e análises interessantes a respeito das características do local e apresentando uma eficiente agilidade para manipulação dos dados.
- Segundo os dados analisados, infere-se que o município de João Pessoa apresenta feições muito susceptíveis à contaminação, o que requer rigorosa fiscalização pelos órgãos ambientais e prudência dos empreendedores ao construir estabelecimentos

de venda de combustíveis.

• É fundamental salientar que, devido à escassez de dados espaciais do município de João Pessoa e desigualdade da escala dos arquivos espaciais, este estudo apresenta uma visão geral da susceptibilidade de contaminação do solo por hidrocarbonetos provenientes de postos de revenda de combustível, fazendo com que seja essencial uma coleta de campo para confrontar os dados, gerar mapas mais precisos e fazer inferências mais concretas.

• O mapeamento de susceptibilidade de contaminação é um estudo imprescindível no que tange o ordenamento urbano e proteção ambiental, sendo as informações obtidas muito importantes para a correta alocação, no caso, dos postos de revenda de combustível e/ou monitoramento para aqueles vigentes, podendo ser aplicado para outros tipos de empreendimentos que apresente significativo potencial poluidor.

• Este trabalho não teve como intuito expressar inviabilidade de construção de postos de revenda de combustível, mas auxiliar em quais cuidados e medidas corretivas adotar para prevenir e atenuar impactos ao meio ambiente e a saúde pública.

REFERÊNCIAS

AESA - AGENCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DE ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. Plano Estadual de Recursos Hídricos. Paraíba. AESA, 2006.

Aller, L., T. Bennett, J. H. Lehr, R. J. Petty, E G. Hackett. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. Environmental Protection Agency Report 600/2-87-035. Washington, D.C. 1987.

Brasil. Lei n° 12.651, de 15 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF.

Brasil. Lei n° 11.600, de 21 de janeiro de 2009. Acrescente os incisos V, VI, e VII e o parágrafo único ao artigo 5° a Lei n° 9904/2003. João Pessoa, PB, n. 1149, 24 jan. 2009. p. 1.

Capalonga, S. Avaliação do perigo de contaminação das águas subterrâneas por fontes pontuais nos municípios do Vale do Taquari – RS. Revista Águas Subterrâneas, Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas, v 33, n° 4, 1-14. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. 2019. DOI. 10.14295/ras.v33i4.29600.

DETRAN - DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO. Frota geral de veículos – Paraíba, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos [et al.]. – 5. ed., re . e ampl. − Brasília, DF : Embrapa, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, 1979, Rio de Janeiro. Súmula..Rio de Janeiro, 1979.

Entezari, M., Yamani, M., Aghdam, M. J. Evaluation of intrinsic vulnerability, hazard and risk mapping for karst aquifers, Khorein aquifer, Kermanshah prov-ince: a case study. Environmental Earth Sciences, v. 75, n. 435, 2016. DOI. 10.1007/s12665-016-5258-5.

Iritani, A., Rossini-penteado, D., Ezaki, S.; Oda, G. H. Perigo de contaminação da água subterrânea na região de Indaiatuba a Capivari. Revista do instituto geológico, v. 38, n. 1, p. 1-16, 2017. DOI. 10.5935/0100-929X.20170001.

Jakada, H., Chen, Z., Luo, Z. et al. Coupling Intrinsic Vulnerability Mapping and Tracer Test for Source Vulnerability and Risk Assessment in a Karst Catchment Based on EPIK Method: A Case Study for the Xingshan County, Southern China. Arabian Journal for Science and Engineering, v. 44, p. 377-389, 2019. DOI. 10.1007/s13369-018-3392-y.

Lisboa, E. G.; Mendes, R. L. R.; Bello, L. A. L. Mapeamento do risco de contaminação das águas subterrâneas em zonas urbanas: proposta de um índice de perigo fuzzy-AHP. Revista da Universidade Vale do Rio Verde. Universidade Vale do Rio Verde, v. 14, n°. 2, p 238-252, 2016, DOI 10.5892/ruvrd.v14i2.3282.

Li, H., Yu, X., Zhang, W., Huan, Y., Yu, J., Zhang, Y. Risk Assessment of Groundwater Organic Pollution Using Hazard, Intrinsic Vulnerability, and Groundwater Value, Suzhou City in China. Exposure and Health, v. 10, p. 99-115, 2018. DOI. 10.1007/s12403-017-0248-8.

Marques. E.M. ; Guerra, A. J. T. . Solos Contaminados por Hidrocarbonetos de Petróleo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA - SINAGEO, 7., 2008, Belo Horizonte. Dinâmica e Diversidade de Paisagens. São Paulo: TECART,. v. 7. p. 1-13.

Remigio, A. F. N.; Fonseca, A. C. ; Souza, G. F. ; Cunha, M. ; Duarte, D. . Mapeamento e Investigação da Contaminação do Solo e Águas Subterrâneas devi-do à presença de Postos de Distribuição de Combustíveis no Município de João Pessoa-PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGE-NHARIA GEOTÉCNICA GEOTECNIA E DESENVOLVIMENTO URBANO COBRAMSEG, 19., Salvador. 2018.

Rocha, D. L. Da [et al.]. Remediação e biorremediação de solos multicontaminados com hidrocarbonetos e metais com ênfase na aplicação de surfatantes e biossurfatantes. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2016.

Valentino, C. H., Carnieto, F., Souza, A. D. G. Susceptibilidade de poluição do solo e da água relacionados aos postos de combustíveis em área urbana. Caderno de geografia (PUCMG),   . 28, n. 55, p. 936-958, 2018. DOI. 10.5752/p.2318-2962.2018v28n55p936 936.

CAPÍTULO 4

PAISAGEM E PLANEJAMENTO DA ORLA URBANA DE SALINÓPOLIS - PA

Data de aceite: 01/02/2022

Antônio Carlos Ribeiro Araújo Júnior
http://lattes.cnpq.br/0378949918489324

Adriane Karina Amin de Azevedo
http://lattes.cnpq.br/7472611398904195

RESUMO: O ecossistema manguezal no município de Salinópolis (PA) apresenta dinâmica singular em razão de intervenções sociais potencializadoras de dinâmicas econômicas (como o turismo), bem como de dinâmicas naturais (poluição de mangues). A construção da orla urbanizada nas praias do Maçarico e Corvina contribuiu para a incorporação destes espaços mais intensamente na dinâmica urbana, acabando por influir de forma deletéria nos ambientes de manguezal. Cabe então analisar como a teoria geral dos sistemas pode contribuir para o entendimento da paisagem de manguezal, bem como entender quais dinâmicas são potencializadas ou mesmo geradas pelas intervenções antrópicas no ambiente de manguezal, fazendo-se uso de técnicas para levantamento de dados primários com trabalhos de campo, elaboração de croquis e observação sistemática, tendo como aporte dados secundários disponíveis no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foi possível constatar que há um maior aporte de água doce oriundo do escoamento de áreas agora impermeabilizadas em detrimento do da percolação da água no solo e que o manguezal caracteriza-se como geossistema regressivo com geomorfogênese ligada à ação antrópica.

PALAVRAS-CHAVE: Manguezal. Paisagem. Ação antrópica.

ABSTRACT: The mangrove ecosystem in the municipality of Salinópolis (PA) has a unique dynamic due to social interventions that enhance economic dynamics (such as tourism) as well as natural dynamics (pollution of mangroves). The construction of the urbanized shoreline on Maçarico and Corvina beaches contributed to the incorporation of these spaces more intensely into the urban dynamics, ending up having a deleterious influenc on mangrove environments. It is then necessary to analyze how the general theory of systems can contribute to the understanding of the mangrove landscape, as well as to understand which dynamics are potentialized or even generated by anthropic interventions in the mangrove environment, making use of primary data collection techniques with works fieldwork, drawing up sketches and systematic observation, using secondary data available at the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), it was possible to verify that there is a greater supply of fresh water from the runoff from now impermeable areas to the detriment of the percolation of the water in the soil and that the mangrove is characterized as a regressive geosystem with geomorphogenesis linked to anthropogenic action.

KEYWORDS: Mangrove. Landscape. anthropic action.

INTRODUÇÃO

Os estudos sobre paisagem estiveram inicialmente focados na descrição das formas físicas da superfície terrestre, sendo que progressivamente foram incorporadas as análises das ações do homem-sociedade no transcurso do tempo com a individualização das paisagens culturais frente as paisagens naturais.

A paisagem natural refere-se aos elementos combinados de geologia, geomorfologia, vegetação, hidrografia, etc., enquanto a paisagem cultural-humanizada inclui todas as modificações feitas pela sociedade, como as processadas nos espaços rurais e urbanos, sendo que esses conceitos se atrelam a abordagens filosófica e a uma questão de método de análise.

Neste sentido pode-se conceber que a paisagem se constitui como resultado do estabelecimento de uma inter-relação entre a esfera natural e a humana na medida em que a natureza é percebida e apropriada pelo homem-sociedade, o qual historicamente constitui o reflexo dessa organização

A Teoria Geral dos Sistemas (TGS), a guisa de arcabouço teórico, tendo visão holística, permite com que o homem-sociedade não mais seja visto como uma parte desintegrada do sistema. Este agora passará a ser concebido como agente geomórfico possibilitando com que se consiga entender melhor como, por que e para que as alterações no meio físico ocorrem.

Assim, pretende-se (i) analisar como a Teoria Geral dos Sistemas pode contribuir para o entendimento da paisagem de manguezal na cidade de Salinópolis (PA), como também (ii) entender seu papel no processo de planejamento da orla urbana de Salinópolis-PA.

TEORIA GERAL DOS SISTEMAS COMO MÉTODO ANALÍTICO

Na Geografia o uso do termo geossistema vem com Sotchava nos anos 1960, para quem o estudo dos geossistemas não se dirige aos seus componentes naturais em si, mas as conexões que estabelecem entre si, sendo a compreensão de sua estrutura funcional e sua dinâmica o cerne dessa concepção, conforme pontua Quaranta (2008). Todavia, a dimensão da ação antrópica incorporada ao conceito de geossistema ocorre apenas com Bertrand (figura 1), lembra Rosolém; Archela (2010).

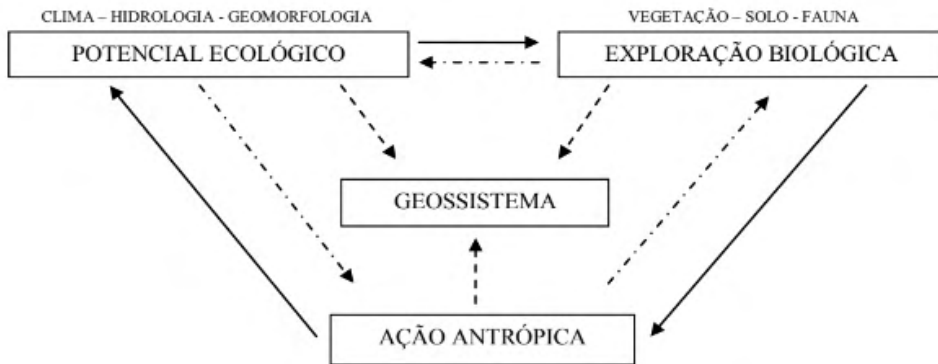



Figura 1: Esboço de uma definição teórica de Geossistema

Fonte: Bertrand, 1971.

Bertrand (1971) ainda considera que os elementos que atuam conjuntamente na construção da paisagem apresentam individualmente um sistema evolutivo diferente, sendo esses elementos identificados em três conjuntos: (i) sistema geomorfogenético, (ii) dinâmica biológica (intervindo no nível da cobertura vegetal e dos solos) e (iii) sistema formado pela exploração antrópica, assumindo fundamental papel nesse processo. Ele também define o sistema de evolução como uma série de agentes e processos mais ou menos bem hierarquizados.

O geossistema enquanto metodologia tem estado para a Geografia Física ao longo das últimas décadas como o espaço está enquanto categoria geográfica, para a própria ciência geográfica. Isso fica evidente em Mendonça (2002) quando este afirma que o estudo da Geografia Física dentro da metodologia geossistêmica é o seu objetivo fundamental. Dessa forma se percebe que Bertrand (1971) pretende com a abordagem geossistêmica expressar o papel de síntese que a Geografia Física deve assumir colaborando e recebendo colaboração de outras ciências, naturais e humanas, para a explicação da paisagem.

Não há de ser diferente para a cidade de Salinópolis, uma vez que o processo de ocupação urbana por ela experenciado mostra a insuficiência do entendimento geográfico se visto apenas pelos processos dinâmicos do sistema natural estudado, no caso o manguezal, posto ser evidenciado que a interrelação social-natural marca a paisagem, transformando-a e por consequência reestabilizando o sistema, o qual é dinâmico e sinérgico.

A Teoria Geral dos Sistemas permite que uma análise social, econômica e ambiental possa ser empreendida sem comprometer o entendimento do *holos*, o que favorece, assim, a análise geográfica

Tal método adotado permitiu com que os dados coletados em campo fossem analisados em perspectiva integrada (relação sociedade-natureza). Além disso foi elaborado uma mapa de localização da área de estudo fazendo-se uso do software ArcGis

9.3, destacando a cidade de Salinópolis, na qual se localiza a área de manguezal estudada nas praias do Maçarico e Corvina.

Para elaboração do gráfico sobre população foram utilizados dados secundários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os quais foram processados no software *Microsoft Office Excel 2007*. Foram feitas também observações sistemáticas em campo, as quais permitiram com que fossem delimitadas as áreas de planície de maré e inframaré, bem como delimitação das áreas de duna, pós-praia e estirâncio. Além disso, foram elaborados perfis longitudinais com a utilização de papel milimetrado, possibilitando a quantificação da extensão de cada unidade estrutural praial e de mangue.

ÁREA DE ESTUDO

O litoral norte brasileiro que se estende do estado do Amapá até a região nordeste do estado do Pará, corresponde a um setor extremamente dinâmico onde segundo Mendes (2005) as modificações morfológicas e sedimentológicas são regra e ocorrem em escalas espaciais e temporais, as quais variam de poucos segundos e centímetros há séculos e milhares de quilômetros.

O estabelecimento de sistemas deposicionais com características morfológicas e sedimentológicas peculiares como apontado por Mendes (2005) favorece o surgir das planícies lamosas, as quais sustentam manguezais um dos ecossistemas mais produtivos e importantes do ponto de vista ecológico e geográfico

Os manguezais são verdadeiras florestas intertidais (MENDES, 2005) se desenvolvendo em todos os lugares onde prevalece a influência da água salgada (LIMA; TOURINHO; COSTA, 2000). Nos rios com forte pressão da água salgada, acompanham o curso rio acima, formando pestanas até onde passa a prevalecer o domínio da água doce, mesmo aí, desde que em alguma época do ano haja influência da água salgada, aparecem exemplares esparsos, embora de menor porte.

Apesar do regime de macromarés semidiurnas (> 4 m), os manguezais paraenses encontram-se muito bem conservados, relativamente bem protegidos por restingas e abrigados no interior dos estuários apresentando como fala Mendes, maior permanência de condições de desenvolvimento no tempo e no espaço.

A diversidade de espécies vegetais é baixa com predomínio de três espécies principais: *Rhizophora mangle L.* (Meyer), *Avicennia germinans* e *Laguncularia recemosa* (PROISY, SOUZA FILHO, FROMARD, 2003 apud MENDES, 2005). Além desses gêneros, Luz et. al. (2000) também identificaram outra espécie de siriúba, *Avicennia shaueriana*.

Em zonas de progradação lamosa, nas quais os manguezais desempenham papel geológico muito importante como construtores de continente, a franja exterior da vegetação é formada segundo Mendes (2005) por *Spartina brasiliensis* Raddi, seguida de *Laguncularia*

recemosa, gradando para *Avicennia germinans*, definindo o padrão escada[1]. Nesses casos o substrato argiloso é fixado graças à colonização inicial por *Spartina brasiliensis* Raddi.

Para a caracterização do ambiente de mangue focalizou-se o município de Salinópolis no estado do Pará (figura 2), o qual se destaca por apresentar um grande potencial paisagístico e ecológico, com destaque para as suas belas praias. Este município está localizado na mesorregião Nordeste Paraense, microrregião do Salgado, limitado pelos paralelos 00º35'22"S e meridianos 47º15'47"WGr e 47º21'12"WGr, distando cerca de 220 km da capital Belém.

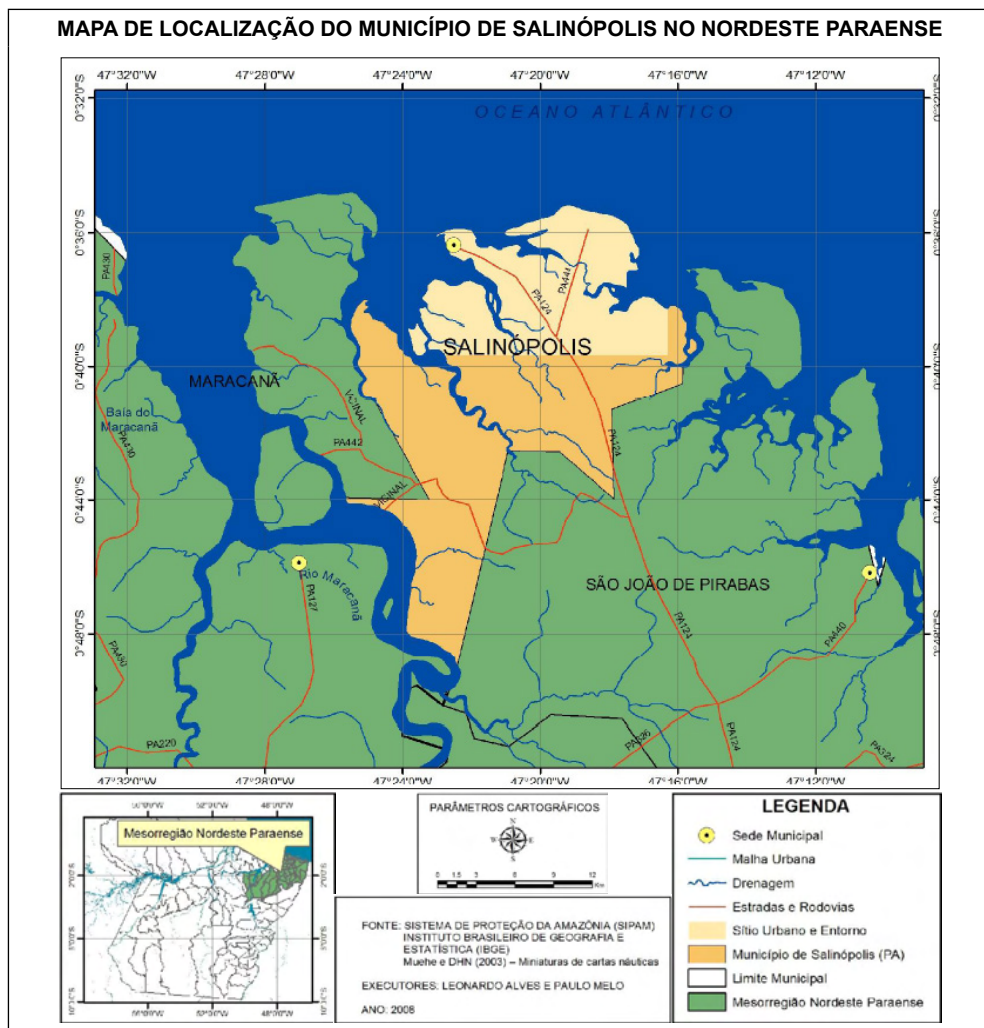



Figura 2: Localização da área de estudo.

Fonte: Melo (2008).

1 Associado às zonas de progradação lamosa e ilhas de manguezais evoluídas a partir de bancos arenosos. Esse padrão seria a resposta passiva das espécies aos processos geomorfológicos e sedimentológicos.

Escalarmente foi possível identificar e elaborar um croqui (figura 3) esquemático na escala de 1:15 m do manguezal as proximidades da praia da Corvina, bem como do espaço praial destacando sua compartimentação, a qual esta passível de sofrer mudanças suaves/bruscas e continuas ao longo do tempo, sendo a paisagem o espelho a mostrar tais alterações.

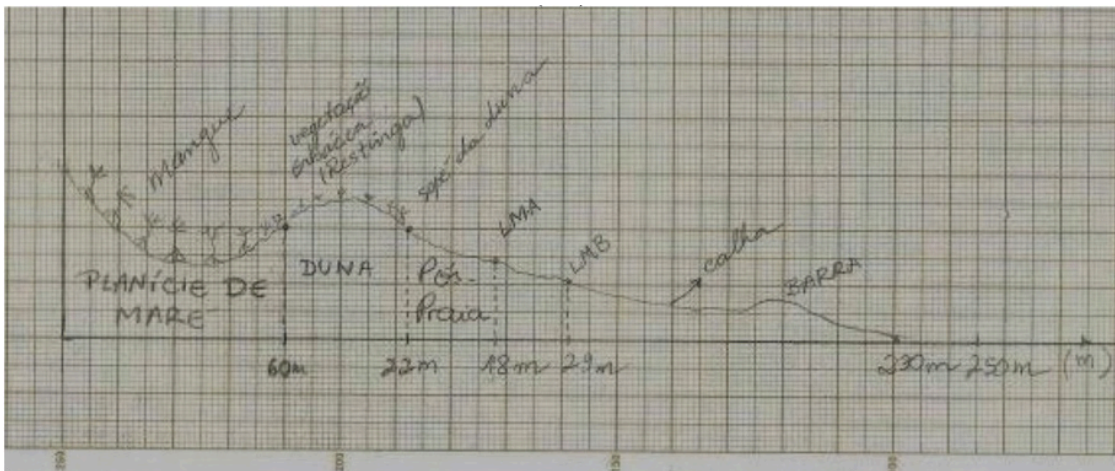



Figura 3: Perfil longitudinal do manguezal, dunas e da praia da Corvina no município de Salinópolis (PA).

Fonte: O autor.

No ambiente de manguezal devido à deposição de sedimentos e a reciclagem da matéria orgânica em decomposição o solo da planície de maré tornou-se propício ao desenvolvimento das espécies vegetais arbóreas como as laguncularеas e as avicennias e arbustivas como as spartinas, sendo está última localizada na zona inicial do manguezal, estando em um solo mais arenoso, tendo como nicho ecológico o papel de colonizadora do ecossistema manguezal.

As rhizóphoras por sua vez em decorrência da localização no solo hidromórfic desenvolveram raízes pneumatóforas (sustentação). Já no ambiente de duna há predominância da vegetação de restinga adaptada ao solo arenoso com papel de colonizadora do ambiente em questão, com a condição que as dunas sejam fixas apresentando então porte herbáceo, arbustivo e arbóreo.

A formação da praia se dá por fatores exclusivamente naturais, principalmente os oceanográficos (movimento das marés), geológicos (deposição de sedimentos) e atmosféricos (ação eólica). O ambiente praial é morfologicamente dividido em três zonas: pós-praia, estirâncio e inframaré.

O pós-praia estende-se da linha de maré alta e é limitado em direção ao continente

por dunas, vegetações e falésias. O pós-praia deste perfil limi a-se por dunas medindo em sua extensão 18 metros. O estirâncio estende-se da linha de maré alta (LMA) até a linha de maré baixa (LMB) com extensão de 29 metros. Já a inframaré estende-se da LMB até as calhas com cerca de 100 a 230 metros de extensão.

MANGUEZAL E A CIDADE DE SALINÓPOLIS-PA

O uso do solo e a ocupação urbana no município de Salinópolis ocorrido nos últimos 40 anos atribuíram-lhe importantes acréscimos populacionais (fi ura 4).

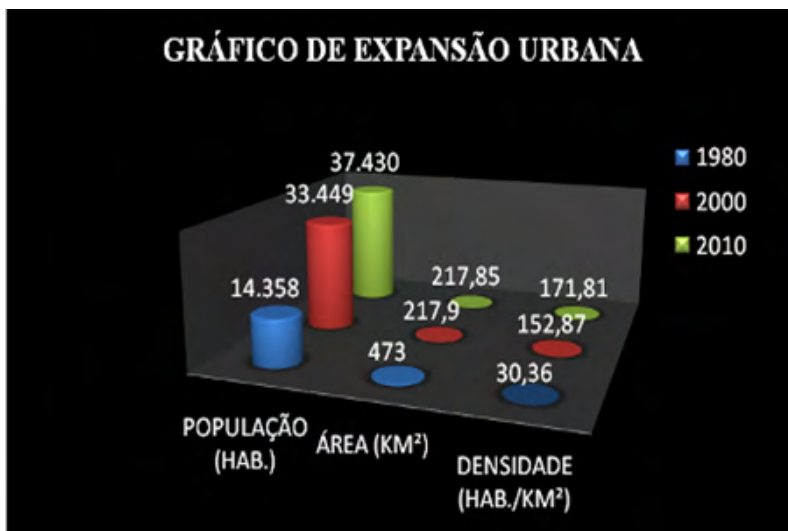



Figura 4: Expansão urbana no município de Salinópolis (PA) nos últimos 40 anos.

Fonte: Melo (2008) e IBGE.

A análise da figura 4 mostra que entre 1980 e 2010 houve aumento da população de 23.072 habitantes, o que equivale a 260,7%, ou seja, a população do município mais que duplicou. No entanto, o referido gráfico aponta para uma ocupação menor da área (km²) do município no mesmo período de 473 km² para 217,85 km², uma diminuição de 255,15 km² ou 46,05% no município, decréscimo este não percebido na densidade (hab/km²), a qual se elevou de 30,36 hab/km² para 171,81 hab/km² ou 565,9%.

Estes números são explicados a partir da observação do município na figura 2, posto que a legenda destaca o município de Salinópolis, bem como seu sítio urbano e entorno. Entre os anos de 1980 e 2010 a população aumentou e começou a se deslocar para a sede do município, por conta disso houve diminuição da área (km²) ocupada e elevação da densidade (hab/km²).

Nota-se que a partir da construção da orla do Maçarico e Corvina há um incremento

do potencial paisagístico, pois ocorre a combinação entre o arranjo natural e as obras públicas (AB'SÁBER, 2003), tendo em vista que se trata de uma valorização do espaço (MORAES; COSTA, 1999). No entanto, segundo Melo (2008) isso afeta a dinâmica dessas paisagens, pois a impermeabilização do solo pelo asfaltamento da orla alterou a circulação hídrica e a mobilidade sedimentar. Há inclusive o deslocamento facilitado de sedimentos de granulometria mais elevada para o interior do manguezal através das canaletas de escoamento das águas pluviais.

Para Melo (2008) é importante ressaltar que não houve uma preocupação de valorização uniforme de toda a paisagem costeira. E isso é exemplificado pela seleção de algumas unidades para a criação de valor no espaço a partir do valor de alguns espaços (MORAES; COSTA, 1999). Daí a escolha das geofácies de praia, diretamente relacionadas ao turismo, em detrimento das demais unidades como os geossistemas de manguezais que estão mais relacionados à sobrevivência das populações tradicionais e a ocupação por migrantes pobres.

Assim torna-se importante ressaltar a diferença entre os portes de cada espécie, a qual se dá devido à variação de salinidade envolvendo a ação eólica e da maré[2]. A área analisada apresenta predominância de espécies arbóreas (figura 5) sendo a maré responsável pela constituição do solo devido ao estofo de maré, ocorrendo então a deposição de sedimentos que irá caracterizar um solo arenoso, inconsolidado e hidromórfic [3] decorrente da falta de drenagem que representa área de transição entre a praia e o manguezal.

Devido o manguezal estar localizado em uma área de planície de maré, caracterizada pela presença de solos hidromórficos em virtude do não escoamento da água oriunda da chuva e dos canais de drenagem, ocorre uma adaptação da vegetação específica do local a salinidade e a salobridade, sendo que há um limite de tolerância das espécies tanto para a salinidade quanto para a salobridade.

A localização em um terreno de superfície côncava confere uma adequação morfológica das espécies encontradas no habitat e por conta de uma hidrografia flúvio marinha favorece a proliferação de crustáceos característicos deste ambiente com extensão de 60 metros.

Também é possível identificar dinâmicas naturais e impactos antropogênicos na área de mangue na praia da Corvina, onde a dinâmica natural é ocasionada pelo avanço de dunas móveis transportadas pela ação eólica sobre o mangue promovendo a consolidação do solo e entulhamento dos canais de maré em certa medida favorecendo a "morte" do manguezal.

Os impactos antropogênicos detectados são encontrados principalmente na orla da praia da Corvina, na qual o despejo de rejeitos e descarga pluvial na área colabora para a

2 Calmaria da maré cheia e baixa energia da maré alta favorecendo a deposição sedimentar.
3 Esses solos são derivados de sedimentos do Holoceno e formados sob condições de hidromorfismo, em ambientes de redução apresentando em comum a limitação de má drenagem acarretando no acumulo de água no solo.

modificação da composição química do solo – constituído de silte e argila – em virtude disto observa-se a morte de algumas espécies. Tanto na praia, nas dunas e no manguezal foi constatada a deposição de muito lixo inorgânico fator que influi na degradação do ambiente em questão (figura 5)

Figura 5: Acumulo de lixo na área de transição duna-mangue, sobre a vegetação de *Spartina brasiliensis.*

Fonte: o autor.

A construção da orla nas praias do Maçarico e Corvina também é um fator determinante e intensificador do processo de recrudescimento do manguezal, uma vez que a impermeabilização das cotas mais elevadas impede os movimentos de infiltraçã da água no solo por movimentos de percolação, favorecendo o escoamento superficial o qual converge para o mangue e aumenta o aporte de água doce desequilibrando ainda mais o ambiente que já se encontra comprometido em função dos canais de maré estarem pouco a pouco sendo cobertos pela areia oriunda dos movimentos eólicos sobre as dunas, impedindo a entrada de água salgada no ecossistema.

É preocupante como o uso e a ocupação do solo principalmente para fins turísticos vêm expondo o ecossistema mangue ao fenômeno de resistasia com modificação no modelado ligada à ação antrópica, caracterizando o geossistema como regressivo e com potencial ecológico degradado que se desenvolvem por intervenção antrópica no seio das paisagens em plena biostasia (BERTRAND, 1971).

A construção da orla urbanizada das praias do Maçarico e Corvina fez com que boa parte da cobertura vegetal fosse retirada, além do que foi vetor de impermeabilização do solo. Somado a isso tem-se que canais de maré que adentravam o manguezal “abastecendo” este ecossistema com água salgada estejam passando por processos acelerados de assoreamento em razão dos ventos e da barreira artificial criada, a orla

atravessa e dividi o manguezal (figura 6)

Figura 6: Orla urbanizada das praias do Maçarico (seta vermelha) e Corvina (seta amarela) na cidade de Salinópolis (PA), com destaque para resquícios de mangue próximos a planície de inundação na praia da Corvina.

Fonte: Adaptado de http://salinopolitano.blogspot.com.br/2011/06/salinas-sol-praia-e-curticao.html.

Percebe-se no ecossistema manguezal de Salinópolis o fenômeno da resistasia, no qual a geomorfogênese domina a dinâmica da paisagem. Para Bertrand (1971) a erosão, o transporte e acumulação de detritos de toda a sorte (húmus, detritos vegetais, horizontes pedológicos, mantos superficiais e fragmentos de rocha *in loco*) levam a uma mobilidade das vertentes e a uma modificação mais ou menos possante do pot ncial ecológico.

O mangue presente na área próxima a praia Corvina pode ser caracterizado como geossistema regressivo com geomorfogênese ligada à ação antrópica, no qual o potencial ecológico degradado se desenvolve em plena biostasia (BERTRAND, 1971), ou seja, o ecossistema mangue em desequilíbrio procura um (re) equilíbrio, a fim de restaurar os fenômenos biostáticos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A orla urbanizada ao entrecortar o mangue potencializa o escoamento superficia (*runoff*) de águas doces pluviais, as quais por estarem em cotas ligeiramente mais elevadas acabam por ser escoadas para o manguezal, desequilibrando o tênue balanço de águas doces e salgadas formadores do mangue.

Com o equilíbrio rompido tem-se fenômenos resistáticos predominando sobre fenômenos biostáticos, acreditando-se que, caso a interferência social (uso e ocupação) ocorresse de forma menos agressiva, o ecossistema mangue encontraria seu equilíbrio naturalmente, sendo impactado de forma menos intensa.

Verifica-se que não somente a observância de fatores naturais são suficientes para

entender, caracterizar e analisar o espaço compreendido pelo manguezal, mas as suas inter-relações com as atividades sociais possibilitam uma leitura espacial totalizante, na qual o todo somente é entendido a partir de suas partes, em um viés sistêmico.

A gênese de formas e processos desencadeados pela ação humana ou ação antrópica intensifica dinâmicas e corrobora para um (re) equilíbrio do sistema natural ou do ecossistema. Entender a importância do ecossistema manguezal se faz necessário para analisá-lo a partir de um viés geográfico e assim propor soluções viáveis e compatíveis com a realidade em estudo.

Analisar o manguezal partindo do geossistema permite delimitá-lo escalarmente e atribuir-lhe variáveis passíveis de observação e entendimento ao ser humano (uso e ocupação, densidade vegetacional, impermeabilização do solo, etc), para assim se planejar o espaço contando com as modificações da paisagem, não somente visualmente, mas também dinamicamente de forma cíclica e ininterrupta.

O manguezal na cidade de Salinópolis (PA) permite observar como a Geografi em sua relação sociedade-natureza sintetiza parâmetros analíticos imprescindíveis ao planejamento urbano e ambiental, o qual seria sua construção consonante e indissociável com a dinâmica natural e a dinâmica social.

AGRADECIMENTOS

A Prof.ª Dr.ª Márcia Aparecida da Silva Pimentel pela iniciativa e apoio indispensável a este trabalho de campo, sem o qual este trabalho não teria sido concluído. A Prof.ª Dr.ª Maria Thereza Ribeiro da Costa Prost e aos Professores Doutores José Francisco Berredo e Jorge Piccinin.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza do Brasil e suas potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**. São Paulo: Instituto de Geografia, US , 1971.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos demográfico 2010** Disponíveis em: www.ibge.gov.br.

LIMA, R. R.; TOURINHO, M. M.; COSTA, J. P. C. **Várzeas flúvio-marinhas da Amazônia brasileira**: características e possibilidades agropecuárias. Belém: FCAP. Serviço de Documentação e Informação, 2000.

LUZ, L. M., PROST, M. T. C., MENDES, A. C. e BERREDO, J. F. Interações entre gradiente de sucessão de manguezais e dinâmica costeira: o exemplo da Ilha Nova – São Caetano de Odivelas/Pará/Brasil. In: **WORKSHOP ECOLAR**, 5, 2000, Macapá. Livro de Resumos Expandidos. Amapá: [s.n.], 2000.

MELO, P. A. **Apropriação da natureza e sensibilidade de paisagens costeiras**: proposições para a gestão ambiental da área urbana de Salinópolis (PA). Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Belém, 2008.

MENDES, A. C. Geomorfologia e sedimentologia. In: FERNANDES, M. E. B. (Org.). **Os manguezais da costa norte brasileira**. v. 2, Belém – PA, 2005.

MENDONÇA, F. Geografia socioambiental. In: MENDONÇA, .; KOSEL, S. (orgs.). **Elementos de Epistemologia da Geografia Contemporânea** Curitiba: Ed. da UFPR, p. 121-144, 2002.

MORAES, A. C. R.; COSTA, W.M. **A valorização do espaço**. São Paulo: Hucitec,1999.

QUARANTA, M. O ponto de vista sistêmico: a antiga *physis* grega ressurge nos sistemas ambientais. **Gaia Scientia**, p. 47-62, 2008.

ROSOLÉM, N. P.; ARCHELA, R. S. Geossistema, Território e Paisagem como método de análise geográfica. In: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. **Anais...** Universidade de Coimbra, 2010.

CAPÍTULO 5

TEORIA DE AMOSTRAGEM DE PIERRE GY APLICADA À ÁGUAS MINERAIS ENVASADAS

Data de aceite: 01/02/2022

Thays de Souza João Luiz
Universidade Virtual do Estado de São Paulo (UNIVESP), Tutoria dos cursos das Licenciaturas e das Engenharias

Vládia Cristina Gonçalves Souza
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN)

Andson Pereira Ferreira
Coordenador do Instituto Federal do Pará (IFPA), Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental

Gustavo Leandro Tomazi
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN)

RESUMO: Este trabalho consistiu na aplicação da teoria de Amostragem de Pierre Gy em conjunto com o conceito de variância de extensão que provém da Geoestatística, para determinar a melhor frequência de amostragem para duas fontes de águas minerais envasadas do Estado de São Paulo. As fontes analisadas foram a Fonte Santo Antonio localizada em São Paulo e a Fonte Verônica localizada em Serra Negra. Da Fonte Santo Antonio foram coletadas embalagens de 20 litros e da Fonte Verônica foram coletadas garrafas de 510 ml. As análises químicas foram realizadas para os seguintes elementos: cálcio, cloreto, magnésio e sódio. A água mineral foi considerada como material heterogêneo segundo a Teoria de Pierre Gy e calculou-se o sua Heterogeneidade de Constituição. O intervalo de coleta das amostras foi de um dia, e por meio do cálculo da variância de extensão foi obtido o erro de se amostrar os parâmetros químicos em intervalos iguais a 2 dias, 4 dias, 8 dias etc. Correlacionando-se a variância de extensão com os erros de amostragem obtidos da Teoria de Pierre Gy chegou-se ao resultado de que o intervalo de coleta das fontes deve ser menor que 4 meses ou 128 dias.

PALAVRAS-CHAVE: Teoria de Amostragem de Pierre Gy, variância de extensão, frequência de amostragem, águas minerais, parâmetros químicos.

PIERRE GY'S THEORY OF SAMPLING APPLIED TO BOTTLED MINERAL WATERS

ABSTRACT: This work consisted in the application of Pierre Gy's Sampling theory together with the concept of extension variance that comes from Geostatistics, to determine the best sampling frequency for two sources of bottled mineral waters in the State of São Paulo. The water sources analyzed were the Fonte Santo Antonio located in São Paulo and the Fonte Verônica located in Serra Negra. From Fonte Santo Antonio, were collected 20 liter containers and from Fonte Verônica, were collected 510 ml bottles. Chemical analyzes were performed for the following elements: calcium, chloride, magnesium, and sodium. Mineral water was considered a heterogeneous material

according to Pierre Gy's Theory and its Constitutional Heterogeneity was calculated. The sample collection interval was one day, and by calculating the extension variance, the error of sampling the chemical parameters at intervals equal to 2 days, 4 days, 8 days etc. was obtained. Correlating the extension variance with the sampling errors obtained from Pierre Gy's Theory, the result was that the source collection interval must be less than 4 months or 128 days.
KEYWORDS: Pierre Gy's Sampling Theory, extension variance, sampling frequency, mineral waters, chemical parameters.

1 | INTRODUÇÃO

A indústria de águas minerais envasadas pertence ao ramo das indústrias mineiras, deveria seguir a maior parte da legislação mineira no que tange às práticas de amostragem de minérios, mas parece que na prática isso não é levado em consideração. A amostragem na indústria de águas envasadas é muito peculiar se comparada com a amostragem da indústria mineira. Na figura 1, são resumidos algumas das diferenças entre a amostragem na indústria mineral e a indústria das águas minerais envasadas.

Indústria de Águas envasadas

- 1 amostra completa anual
- Sem quarteamento
- 1 análise completa para os rótulos a cada 3 anos
- classificação da reserva com base em uma análise trienal.

Indústria Mineral

- Protocolos de amostragem
- Uso da Geoestatística
- Quarteamento das amostras
- Classificação sistemática das reservas com o uso da Geoestatística

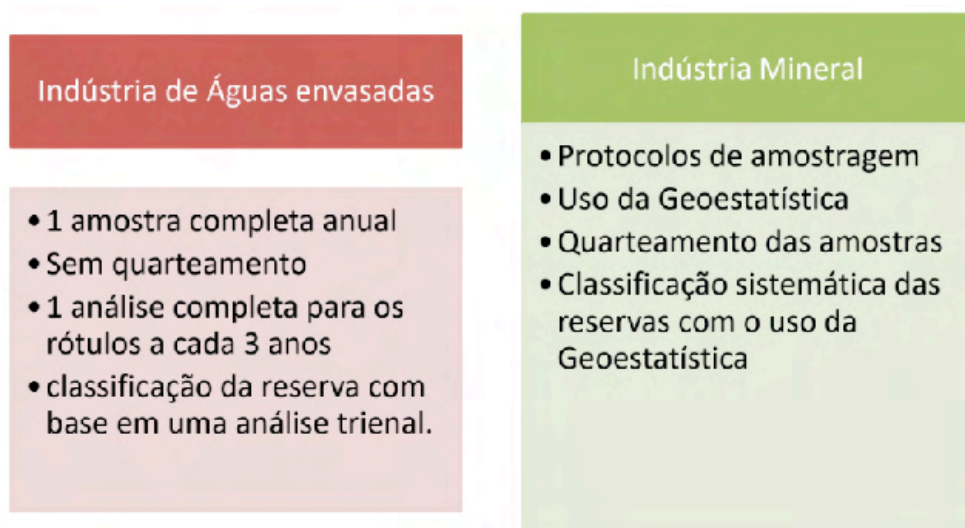



Figura 1 – Diferença entre a amostragem das águas envasadas e a amostragem na indústria mineral.
Fonte: Autores (2021).

Convém dizer que essas peculiaridades existentes no processo de amostragem de águas minerais têm gerado muitos erros de amostragem que têm levado à classificaçã equivocada das fontes de águas minerais, em função do baixo número de amostras coletadas para se fazer a classificação das fontes segundo as normas da Agência Nacional de Mineração (BRASIL, 1945; BRASIL, 2014; BRASIL, 2019; BRASIL, 2021).

O objetivo do presente artigo é a aplicação das técnicas de amostragem que são usadas na indústria mineira para se determinar a melhor frequência de amostragem para duas fontes de águas minerais envasadas. Serão aplicadas as técnicas de geoestatística comumente usadas na indústria mineral, onde são usados variogramas temporais para se amostrar o teor dos minérios. Esses procedimentos podem ser vistos nos seguintes trabalhos no autor Pierre Gy: Gy (2004a), Gy (2004b); Gy (2004c); Gy (2004d) e Gy (2004e). Neste trabalho foram combinadas o uso de técnicas importantes de geoestatística (variogramas temporais e uso da variância de extensão) com a conhecida Teoria de Amostragem de Pierre Gy (com destaque para o uso do conceito do erro fundamental de amostragem e da heterogeneidade de constituição do minério), para que se pudesse encontrar a melhor frequência de amostragem para os parâmetros químicos analisados das duas fontes, de forma a minimizar a contribuição do erro de amostragem e a atender os valores mínimos e máximos estabelecidos na legislação vigente para os parâmetros analisados.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho foram colhidas 20 amostras da Fonte Santo Antonio localizada na cidade de São Paulo, as amostras coletadas foram garrafas de 20 litros retornáveis. A segunda fonte amostrada foi a Fonte Verônica, localizada na cidade de Serra Negra, dessa fonte também foram coletadas 20 amostras, as embalagens coletadas forma garrafas descartáveis de 510 ml. Tanto a água mineral da Fonte Santo Antonio como da Fonte Verônica é classificada como sendo água mineral fluoretada. Para as duas fontes, a coleta das amostras foi diária, os parâmetros químicos analisados foram: cálcio, cloreto, magnésio e sódio. Apesar da coleta ser diária, nem sempre as fontes envasavam as embalagens todos os dias, coletaram-se as amostras conforme a disponibilidade nos estabelecimentos comerciais em que eram adquiridas. Mas considera-se que a periodicidade de coleta das amostras como sendo diária (intervalo t = 1 dia).

Ao término da coleta de 20 amostras de cada fonte, foram realizadas as análises químicas no laboratório, o laboratório seguiu a metodologia de amostragem estabelecida no manual **Standard methods for the examination of water and wastewater** (Rice et. al. 2012), foi usada a 22ª edição desse manual de amostragem de águas. Após a obtenção dos resultados das análises foi dado o tratamento estatístico aos dados e posteriormente, foram construídos os variogramas temporais, mostrados na equação 1, o modelo de variograma utilizado foi o esférico (Armstrong, 1998):

$$\gamma(t) = C_0 + C_1\left[1{,}5\left(\frac{t}{a}\right) - 0{,}5\left(\frac{t}{a}\right)^3\right], \text{ para } t < a \quad (1)$$
$$\gamma(t) = C_0 + C_1, \text{ para } t \geq a \quad (1)$$

Na equação 1, o termo “t” corresponde ao intervalo de tempo de amostragem, o termo “a” corresponde ao alcance do variograma, o termo C_0 corresponde ao efeito pepita do variograma e o termo C_1 corresponde ao sill do variograma.

Os variogramas temporais foram calculados no software de geoestatística SGeMS (SGeMS, 2012), foi usada a versão acadêmica da UFRGS desse software. Após calcularam-se os variogramas temporais, foi calculada a variância de extensão por meio da fórmula da equação 2:

$$\sigma^2_{ext}\left(\frac{-}{T}\right) = 2\bar{\gamma}\left(\frac{-}{t}\right) - \bar{\gamma}\left(\frac{-}{T}\right) \quad (2)$$

Na equação 2, o termo σ^2_{ext} corresponde à variância de extensão; o termo $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{t}\right)$ é a variância de dispersão média com respeito ao intervalo de tempo menor “t” e o termo $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{T}\right)$ = é a variância média de dispersão com respeito ao intervalo de tempo maior “T”. Os variogramas correspondentes aos termos $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{t}\right)$ e $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{T}\right)$ foram calculados no software geoestatístico GSLIB desenvolvido pelos autores Deutsch & Journel (1998). O GSLIB é um software livre e pode ser acessado na internet (GSLIB, 2014).

O cálculo da variância de extensão é uma estimativa do erro de precisão cometido quando nós retiramos amostras em intervalos de tempo mais longos levando em consideração o intervalo de tempo mínimo em que é possível realizar a coleta de amostras. Neste artigo, o intervalo mínimo foi de um dia (t), mas desejava-se saber qual seria o erro para se a coleta tivesse sido realizada a cada dois dias, a cada quatro dias, a cada 8 dias, e assim por diante. Por isso calculou-se a variância de extensão para t = 2 dias até t= 2048 dias. A legislação da ANM determina uma periodicidade de coleta igual a 3 anos, o que corresponde a um intervalo de aproximadamente t = 1095 dias

Para que fosse possível aplicar a Teoria de Pierre Gy, considerou-se a água mineral como sendo um material heterogêneo. Para se usarem as fórmulas de Pierre Gy, foram feitas extrapolações nas fórmulas, pois na indústria mineral propriamente dita, usam-se as fórmulas de Gy para os óxidos que são componentes dos minerais que estão sendo amostrados, no caso da água mineral, foram usados os teores dos íons para os seguintes elementos químicos: cálcio (Ca^{+2}), cloreto (Cl^{-}), magnésio (Mg +2) e sódio (Na^{+}). Para os elementos químicos em questão foi calculada a heterogeneidade carregada por um fragmento dentro de um lote – conhecida pelo termo hi. Foi usada a fórmula da equação 3 (PITARD, 1993).

$$h_i = N_F \frac{(a_i - a_L)}{a_L} \frac{M_i}{M_L} \quad (3)$$

Na equação 3, o termo N_F corresponde ao número de fragmentos no lote L; o termo

a_i é o teor do componente no incremento; o termo a_L é o teor médio do componente no lote L, o termo M_i é massa do incremento (no caso da água mineral, considera-se como sendo a massa do líquido contido na embalagem) e M_L é massa do lote L (multiplica-se a massa das embalagens pelo número de amostras recolhidas). A heterogeneidade de constituição de cada lote, que corresponde ao termo CH_L (Constitution Heterogeneity of Lot) foi calculada por meio da equação 4 a seguir (PITARD, 1993):

$$CH_L = s^2(h_i) = \frac{1}{N_F}\sum_i h_i^2 = N_F \sum_i \frac{(a_i - a_L)^2}{a_L^2}\frac{M_i^2}{M_L^2} \quad (4)$$

Após o cálculo da heterogeneidade hi e da heterogeneidade de constituição (CHL), foi calculada a o fator constante da heterogeneidade de constituição dos fragmentos de um lote – IH_L por meio da equação 5. Por meio da equação 5, foi determinada a variância do erro fundamental de amostragem (PITARD, 1993; GY, 2004a; GY, 2004b; GY, 2004c; GY, 2004d; GY, 2004e). Na equação 6, o termo corresponde à variância do erro fundamental de amostragem.

$$IH_L = \sum_{i=1}^{n} \frac{(m_i - \bar{x})^2}{(m_i)^2} \quad (5)$$

$$Variância\ (EF) = \sigma_{EF}^2 = \frac{IH_L}{M_L} \quad (6)$$

Finalmente, quando foi possível determinar a variância do erro fundamental de amostragem, foi possível calcular a Contribuição da Heterogeneidade de Constituição (CH ou CHL) conforme a equação 7, e também a contribuição do sill na variância de extensão conforme mostrado na equação 8.

$$Contr.CH\ Ext = \frac{Variância\ (EF)}{Variância\ Relativa\ de\ Extensão} \times 100 \quad (7)$$

$$Contr.\ Ext.Sill = \frac{Variância\ Relativa\ de\ Extensão}{Variância\ Relativa\ dos\ dados} \times 100 \quad (8)$$

Nas equações 7 e 8, o termo chamado variância relativa de extensão foi calculado conforme mostra a equação 9. Na equação 8, o termo chamado de variância relativa dos dados foi obtido dividindo-se a variância dos amostrais pelo quadrado da média dos dados amostrais conforme mostrado na equação 10.

$$Variância\ relativa\ de\ extensão = \frac{variância\ de\ extensão\ para\ o\ intervalo\ de\ coleta\ t}{300} \quad (9)$$

$$Variância\ relativa\ dos\ dados = \frac{variância\ dos\ dados}{(média\ dos\ dados)^2} \quad (10)$$

A contribuição do erro de amostragem varia com a periodicidade da amostragem, ou seja, com o intervalo de coleta adotado na amostragem. A porcentagem da contribuição o erro de amostragem foi determinada por meio da equação 11:

$$Contribuição\ erro\ de\ amostragem = \frac{(100-(Contr.\ CH\ Ext.))\times(Contr.\ Ext.Sill)}{100} \quad (11)$$

Para os intervalos de coleta adotados foram calculados os erros absolutos cometidos, este erro consiste na diferença entre o maior valor obtido no intervalo t e o menor valor obtido no mesmo intervalo t, conforme a equação 12. O valor máximo obtido para o intervalo t e o mínimo obtido para o intervalo t foram calculados conforme as equações 13 e 14, respectivamente. A razão de se multiplicar a variância relativa por três deve-se ao fato de que foi feita a estimativa usando o intervalo de confiança IC=99,9%, conforme estabelecido na curva de Gauss (Montgomery & Runger, 2021).

$$Erro\ absoluto = (valor\ máximo\ para\ periodicidade\ t) - (valor\ mínimo\ para\ periodicidade\ t) \quad (12)$$

$$valor\ máximo\ para\ periodicidade\ t = média + \left(3 \times \sqrt{variância\ relativa\ de\ extensão} \times média\right) \quad (13)$$

$$valor\ mínimo\ para\ periodicidade\ t = média - \left(3 \times \sqrt{variância\ relativa\ de\ extensão} \times média\right) \quad (14)$$

Após este extenso tratamento dos dados das análises foram tabulados os resultados principais que serão mostrados e discutidos no próximo item.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados os cálculos de variância de extensão para t = 2 dias até t = 1024 dias, mas no processo de tomada de decisão quanto aos erros de amostragem foram levados em consideração apenas os seguintes intervalos de amostragem t = 2 dias; t = 128 dias; t = 180 dias (6 meses), t= 360 dias (1 ano) e t = 2048 dias (aproximadamente 68 meses ou 5,7 anos).

Os resultados obtidos para o erro absoluto e a contribuição do erro de amostragem para a Fonte Santo Antonio e para Fonte Verônica encontram-se na Tabela 1.

Os resultados obtidos para o erro absoluto não foram impactantes para os elementos

cálcio, cloreto e magnésio da Fonte Santo Antonio e da Fonte Verônica. Apenas para o sódio da Fonte Santo Antonio, o erro absoluto foi maior que 10% quando a frequência de coleta era igual a 6 meses.

Analisando-se a tabela 1, pode-se dizer que os resultados mais preocupantes foram os resultados da contribuição dos erros de amostragem para as duas fontes em questão. Para a **Fonte Santo Antonio**, os resultados obtidos da contribuição do erro de amostragem, com a periodicidade de coleta igual a 4 meses foram os seguintes: 34,55% (cálcio); 6,80% (cloreto); 42,61% (magnésio) e 7,51% (sódio). Para a **Fonte Verônica**, os resultados obtidos da contribuição do erro de amostragem, com a periodicidade de coleta igual a 4 meses foram os seguintes: 82,56% (cálcio); 70,78% (cloreto); 86,86% (magnésio) e 64,67% (sódio). Recomenda-se que o período de amostragem seja menor que menor que quatro meses em função da magnitude da contribuição dos erros de amostragem que foram obtidos para os elementos e que podem levar a resultados errados sobre a classificaçã das águas das fontes.

O anexo 13 da portaria n° 888 de potabilidade do Ministério de Saúde (BRASIL, 2021) não menciona qual deve ser a frequência de análise para os elementos químicos que foram objetos de estudo do presente trabalho: o cálcio, o cloreto, o magnésio e o sódio. O anexo 13 a portaria n° 888 menciona com destaque a frequência de amostragem de um elemento importante que é o fluoreto, nesta portaria fica bem claro que a frequência de amostragem deve ser igual a duas horas para os sistemas que realizam a fluoretaçã ou desfluoretação da água; no primeiro caso temos as torneiras de abastecimento das residências. Os demais sistemas, sistemas devem realizar o monitoramento de fluoret conforme a frequência definida para os demais parâmetros, que é semestral.

Se for adotada a frequência semestral que a portaria de potabilidade sugere para os parâmetros cálcio, cloreto, magnésio e sódio, cometeremos erros de amostragem muito grandes conforme mostrados na tabela 1 e mencionados anteriormente. Convém-se adotar a frequência de amostragem de 4 meses, pois a adoção da frequência de amostragem de 6 meses trará os seguintes erros de amostragem mostrados a seguir.

Para a **Fonte Santo Antonio**, os resultados obtidos da contribuição do erro de amostragem, com a periodicidade de coleta igual a 6 meses foram os seguintes: 52,34% (cálcio); 7,64% (cloreto); 64,03% (magnésio) e 16,30% (sódio). Para a **Fonte Verônica**, os resultados obtidos da contribuição do erro de amostragem, com a periodicidade de coleta igual a 6 meses foram os seguintes: 87,87% (cálcio); 81,64% (cloreto); 89,12% (magnésio) e 89,12% (sódio).

Os íons cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) apresentam limite químico mínimo de detecção na água subterrânea que é de 1 grama por litro, mas não apresentam valor máximo permitido (VMP). Para os íons magnésio e cálcio, a frequência de amostragem quando definida de forma errada, influi apenas na contribuição dos erros de amostragem conforme foi possível ver com o uso do Teoria de Pierre Gy que advém da indústria mineral

e foi usada aqui na indústria de águas envasadas.

Já com relação aos íons sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-), o íon cloreto (Cl -) apresenta valor mínimo de detecção de 0,1 grama por litro tanto para o cloreto como para o sódio, para o cloreto valor máximo permitido é igual a 250 miligramas por litro e para o sódio 200 miligramas por litro.

Quando se tem a frequência de amostragem errada para os íons cloreto e sódio, além de termos altos erros de amostragem, corre-se o risco de obter-se amostras de águas subterrâneas (ou mesmo de água de outra origem que não seja subterrânea), onde os teores de sódio e cloreto sejam muito maiores do que os valores permitidos na legislação vigente. E uma forma de obter essas amostras com valores não permitidos de sódio e cloreto decorre também de erros de amostragem, que não serão discutidos aqui neste artigo.

Portanto, optou-se por adotar a frequência de amostragem de quatro meses para os parâmetros cálcio, cloreto, magnésio e sódio para a Fonte Santo e Fonte Verônica com base no estudo arcabouço da Teoria de Amostragem de Pierre Gy, com base na Uso da Geoestatística que é o comumente utilizado pela indústria mineral e também com base no estudo da legislação sobre amostragem de águas minerais vigente.

Cálcio				
Periodicidade	**Fonte Santo Antonio**		**Fonte Verônica**	
	Erro Absoluto (%)	**Contribuição do Erro de Amostragem (%)**	**Erro Absoluto (%)**	**Contribuição do Erro de Amostragem (%)**
2 em 2 dias	3,04	6,27	0,32	9,60
4 em 4 meses	5,70	34,55	0,81	82,56
6 em 6 meses	6,86	52,34	0,84	87,87
12 em 12 meses	8,26	78,05	0,87	95,83
68 em 68 meses	—	98,81	—	102,46

Cloreto				
Periodicidade	**Fonte Santo Antonio**		**Fonte Verônica**	
	Erro Absoluto (%)	**Contribuição do Erro de Amostragem (%)**	**Erro Absoluto (%)**	**Contribuição do Erro de Amostragem (%)**
2 em 2 dias	5,95	6,20	1,04	5,97
4 em 4 meses	6,11	6,80	2,76	70,78
6 em 6 meses	6,34	7,64	2,95	81,64
12 em 12 meses	8,97	19,59	3,22	98,00
68 em 68 meses	—	79,37	—	99,40

Magnésio				
Periodicidade	Fonte Santo Antonio		Fonte Verônica	
	Erro Absoluto (%)	Contribuição do Erro de Amostragem (%)	Erro Absoluto (%)	Contribuição do Erro de Amostragem (%)
2 em 2 dias	1,32	6,55	0,26	5,49
4 em 4 meses	2,68	42,61	0,75	86,86
6 em 6 meses	3,23	64,03	0,75	89,12
12 em 12 meses	3,69	85,22	0,76	94,55
68 em 68 meses	—	103,55	—	98,16
Sódio				
Periodicidade	Fonte Santo Antonio		Fonte Verônica	
	Erro Absoluto (%)	Contribuição do Erro de Amostragem (%)	Erro Absoluto (%)	Contribuição do Erro de Amostragem (%)
2 em 2 dias	8,16	4,66	0,84	4,73
4 em 4 meses	9,22	7,51	2,22	64,67
6 em 6 meses	11,90	16,30	2,31	70,58
12 em 12 meses	16,83	38,25	2,43	79,02
68 em 68 meses	—	86,78	—	96,75

Tabela 1. Erro Absoluto de Amostragem e Contribuição do Erro de Amostragem conforme a periodicidade de amostragem para a Fonte Santo Antonio e para a Fonte Verônica.

4 | CONCLUSÕES

Com base na Teoria de Amostragem de Pierre Gy e com o Uso da Variância de Extensão da Geoestatística que vem sendo usada com muito sucesso pela indústria mineral, foi possível obter uma frequência de amostragem para os seguintes parâmetros de duas fontes de águas minerais envasadas: cálcio, cloreto, magnésio e sódio. A frequência de amostragem obtida foi igual a 4 meses. Na portaria de potabilidade n° 888 do ano de 2021, a frequência de amostragem para esses parâmetros seria igual a seis meses. A contribuição dos erros de amostragem para esses parâmetros seria inaceitável com uma frequência de amostragem igual a seis meses. A portaria n° 888 do Ministério da Saúde aplicada com a Teoria de Amostragem de Pierre Gy mais o Uso da Variância de Extensão permite garantir a potabilidade da água, pois garantiu um ajuste na periodicidade da amostragem desses parâmetros de qualidade da água e garantiu um rigor mais estatístico no processo de amostragem da água subterrânea.

REFERÊNCIAS

BRASIL. ANM – Agência Nacional de Mineração. Decreto-Lei nº 7841 - de 8 de agosto 1945 Código de Águas Minerais. Brasília, 1945. Disponível em: https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/TematicaAction.php?acao=abrirVinculos&cotematica=10059295&cod_menu=6783&cod_modulo=405. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

BRASIL. Departamento de Produção Mineral – DNPM**.** (National Department of Mineral Production). **Portaria nº 540**, de 18/12/2014, DOU de 19/12/2014. Brasília, DF: DNPM, 2014. Estabelece limites mínimos dos elementos dignos de nota, para a classificação das Águas Minerais. Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=760. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

BRASIL. ANM – Agência Nacional de Mineração. Portaria SEI n° 32 - de 29 de janeiro 2019 Brasília, 2019. Disponível em: https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/TematicaAction.php?acao=abrirVinculos&cotematica=10059297&cod_menu=6783&cod_modulo=405. Acesso em 12 de novembro de 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade Brasília, 2021. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. GSLIB Geostatistical Software and User's Guide: Oxford University Press, New York, 1998, 369 pp.

GSLIB. Geostatistical Software Library. 2014. Disponível em: http://www.gslib.com/. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

GY, P. Sampling of discrete materials—A new introduction to the theory of sampling. I – Qualitative Approach. Chemom. Intell. Lab. Syst. 2004a, 74, 7–24.

GY, P. Sampling of discrete materials—A new introduction to the theory of sampling. II –Quantitative Approach – sampling of zero-dimensional objects Chemom. Intell. Lab. Syst. 2004b, 74, 25–38.

GY, P. Sampling of discrete materials—A new introduction to the theory of sampling. III – Quantitative Approach – sampling one-dimensional objects. Chemom. Intell. Lab. Syst. 2004c, 74, 39–47.

GY, P. Part IV – 50 years of Sampling Theory. Chemom. Intell. Lab. Syst. 2004d, 74, 49– 60.

GY, P. Part V – Annotate Literature Compilation of Pierre Gy. Chemom. Intell. Lab. Syst. 2004e, 74, 61–70.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros.7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021

PITARD, F.F. Pierre Gy's Sampling Theory and Sampling Practice, Second Edition: Heterogeneity, Sampling Correctness, and Statistical Process Control. 2. ed. CRC Press. 1993, 528 p.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496 p.

SARMA D. D., Geostatistics with Applications in Earth Sciences, Springer, 2009, 220 p.

SGeMS - Standford Geostatistical Modelling Software. Disponível em: http://sgems.sourceforge.net/. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

CAPÍTULO 6

USO DA VARIÂNCIA DE EXTENSÃO NO MONITORAMENTO DE ÁGUAS MINERAIS ENVASADAS

Data de aceite: 01/02/2022

Thays de Souza João Luiz
Universidade Virtual do Estado de São Paulo (UNIVESP), Tutoria dos cursos das Licenciaturas e das Engenharias

Vládia Cristina Gonçalves Souza
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN)

Andson Pereira Ferreira
Coordenador do Instituto Federal do Pará (IFPA), Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental

Gustavo Leandro Tomazi
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN)

RESUMO: Este trabalho consistiu na aplicação do conceito de variância de extensão que provém da Geoestatística, para determinar a melhor frequência de amostragem para oito fontes de águas minerais envasadas da marca Bonafont ®; sendo que três fontes estavam localizadas no Estado de São Paulo e cinco fontes estavam localizadas no sul do estado de Minas Gerais. O intervalo de coleta das amostras foi de um dia, e por meio do cálculo da variância de extensão foi obtido o erro de se amostrar o parâmetro biológico Bactérias Heterotróficas (Heterotrophic Count em inglês) em intervalos iguais a 2 dias, 4 dias, 8 dias etc.Correlacionando-se a variância de extensão com os erros chegou-se ao resultado de que o intervalo de coleta das fontes deve ser que diário. Além do parâmetro microbiológico bacteriológico Bactérias Heterotróficas, foram analisados os seguintes parâmetros: Coliformes Totais e Escherichia Coli, mas paras as oito fontes analisadas esses parâmetros apresentarem resultados negativos. Para 7 das 8 fontes analisadas apresentaram resultados negativos para a contagem de Bactérias Heterotróficas, o que permitiu só fosse possível usar a variância de extensão em apenas uma fonte de água mineral até o presente momento.

PALAVRAS-CHAVE: Bactérias Heterotróficas, fontes de águas minerais, variância de extensão, frequência de amostragem.

USE OF EXTENSION VARIANCE IN MONITORING OF HETEROTROPHIC BACTERIA IN BOTTLED MINERAL WATERS

ABSTRACT: This work consisted in the application of the extension variance concept that comes from Geostatistics, to determine the best sampling frequency for eight sources of bottled mineral waters of the Bonafont ® brand; three sources were in the state of São Paulo and five sources were located in the south of the state of Minas Gerais. The sample collection interval was one day, and by calculating the extension variance, the error of sampling the biological parameter Heterotrophic Bacteria (Heterotrophic Count, commonly known in English) at intervals equal to 2 days, 4 days, 8 days was obtained. etc. By correlating the extension variance with the

errors, the result was that the collection interval of the sources must be daily. In addition to the bacteriological microbiological parameter Heterotrophic Bacteria, the following parameters were analyzed: Total Coliforms and Escherichia Coli, but for the eight analyzed sources these parameters presented negative results. For 7 of the 8 sources analyzed, they presented negative results for the count of Heterotrophic Bacteria, which made it possible to only use the variance of extension in only one source of mineral water until the present moment.
KEYWORDS: Heterotrophic Bacteria, mineral water sources, extension variance, sampling frequency.

1 | INTRODUÇÃO

O consumo de águas minerais é uma realidade na sociedade brasileira. A Agência Nacional de Mineração (BRASIL, 1945; BRASIL, 2014; BRASIL, 2019a) O Ministério da Saúde (BRASIL, 2021) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2019b) por meio das suas legislações e normas são os principais órgãos regulamentadores da qualidade das águas minerais.

Estes órgãos governamentais fazem um excelente controle dos parâmetros de qualidade da água do ponto de vista microbiológica, químico e físico-químico. Porém do ponto de vista estatístico, estes órgãos determinam um número muito baixo de amostras a serem colhidas para que sejam analisados os parâmetros microbiológicos que são insuficientes para atender o critério de suficiência amostral da estatística clássica e também atender o critério de suficiência amostra do ponto de vista da geoestatística.

O objetivo do presente artigo é a aplicação das técnicas de amostragem que são usadas na indústria mineira para se determinar a melhor frequência de amostragem para as oitos fontes de águas minerais envasadas. Serão aplicadas as técnicas de geoestatística comumente usadas na indústria mineral. O uso dessas técnicas de geoestatística é para garantir a qualidade microbiológica da água mineral envasada por meio do monitoramento de três parâmetros microbiológicos bem simples: Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais e Escherichia Coli. A atual portaria de potabilidade n° 888 (BRASIL, 2021) determina a melhor frequência de amostragem para esses parâmetros.

No presente artigo será usado o conceito do de variância de extensão que é uma técnica importantíssima da Geoestatística, que determina por meio de variogramas temporais qual será a melhor frequência de amostragem dos teores dos minérios, no presente trabalho serão determinados a melhor frequência de amostragem para as Bactérias Heterotróficas, para os Coliformes Totais e para a Escherichia Coli, conforme os resultados obtidos das análises laboratoriais.

Comparar-se-ão os resultados obtidos com o uso da variância de extensão com os resultados previstos na nova portaria de potabilidade n° 888 de 2021 do Ministério de Saúde (BRASIL, 2021).

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho foram no mínimo 12 amostras de cada uma das oito fontes. Procurou-se coletar pelo menos uma amostra de cada uma das cada amostras das 4 estações climáticas que conhecemos: 1 amostra que foi envasada durante a primavera, 1 amostra que foi envasada durante o verão, uma amostra que envasada durante o outono e 1 amostra que foi envasada durante

Apesar da coleta ser diária, nem sempre as fontes envasavam as embalagens todos os dias, coletaram-se as amostras conforme a disponibilidade nos estabelecimentos comerciais em que eram adquiridas. Mas considera-se que a periodicidade de coleta das amostras como sendo diária (intervalo

Ao término da coleta de pelo menos 12 amostras de cada fonte ao longo de um ano para poder cobrir as 4 estações climáticas, foram realizadas as análises microbiológicas no laboratório, o laboratório seguiu a metodologia de amostragem estabelecida no manual **Standard methods for the examination of water and wastewater** (Rice et. al. 2012), foi usada a 22ª edição desse manual de amostragem de águas.

Após a obtenção dos resultados das análises foi dado o tratamento estatístico aos dados e posteriormente, foram construídos os variogramas temporais, mostrados na equação 1, o modelo de variograma utilizado foi o esférico (Armstrong, 1998):

$$\gamma(t) = C_0 + C_1\left[1{,}5\left(\frac{t}{a}\right) - 0{,}5\left(\frac{t}{a}\right)^3\right], \text{ para } t < a$$

$$\gamma(t) = C_0 + C_1, \text{ para } t \geq a \quad (1)$$

Na equação 1, o termo “t” corresponde ao intervalo de tempo de amostragem, o termo “a” corresponde ao alcance do variograma, o termo C_0 corresponde ao efeito pepita do variograma e o termo C_1 corresponde ao sill do variograma.

Os variogramas temporais foram calculados no software de geoestatística SGeMS (SGeMS, 2012), foi usada a versão acadêmica da UFRGS desse software. Após calcularam-se os variogramas temporais, foi calculada a variância de extensão por meio da fórmula da equação 2:

$$\sigma^2_{ext}\left(\frac{-}{T}\right) = 2\bar{\gamma}\left(\frac{-}{t}\right) - \bar{\gamma}\left(\frac{-}{T}\right) \quad (2)$$

Na equação 2, o termo σ^2_{ext} corresponde à variância de extensão; o termo $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{t}\right)$ é a variância de dispersão média com respeito ao intervalo de tempo menor “t” e o termo $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{T}\right)$= é a variância média de dispersão com respeito ao intervalo de tempo maior “T”. Os variogramas correspondentes aos termos $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{t}\right)$ e $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{T}\right)$ foram calculados no software

geoestatístico GSLIB desenvolvido pelos autores Deutsch & Journel (1998). O GSLIB é um software livre e pode ser acessado na internet (GSLIB, 2014).

O cálculo da variância de extensão é uma estimativa do erro de precisão cometido quando nós retiramos amostras em intervalos de tempo mais longos levando em consideração o intervalo de tempo mínimo em que é possível realizar a coleta de amostras. Neste artigo, o intervalo mínimo de coleta foi de um dia (t), mas desejava-se saber qual seria o erro para se a coleta tivesse sido realizada a cada dois dias, a cada quatro dias, a cada 8 dias, e assim por diante. Por isso calculou-se a variância de extensão para t = 2 dias até t = 2048 dias. A legislação da ANM determina uma periodicidade de coleta igual a 3 anos, o que corresponde a um intervalo de aproximadamente t = 1095 dias.

Para os intervalos de coleta adotados foram calculados os erros relativos cometidos, convém elucidar que o erro relativo se refere ao valor médio dos dados amostrais. Obtém-se o valor médio das amostras coletadas ou do lote amostrado, e depois calcula-se o erro relativo em relação ao valor médio do lote ou do conjunto de dados amostrados, conforme é possível verificar na equação 3 (PI ARD, 1993, p. 32):

$$s_R^2 = \frac{\sigma_{ext}^2}{\left(\bar{x}\right)^2} \quad (3)$$

Onde:

s_R^2 = erro relativo do desvio padrão

$\left(\bar{x}\right)^2$ = média da população elevado ao quadrado

σ_{ext}^2 = variância de extensão obtida

O erro relativo da equação 3 refere-se ao intervalo de confianç (IC) = 64%

Para o intervalo de confiança de 99,9%, o erro relativo de amostragem será mostrado na equação 4 a seguir:

$$ER = 3s_R^2 \quad (4)$$

Onde:

s_R^2 = erro relativo do desvio padrão

ER = erro relativo a um nível de confiança de 99,9

Os valores máximos e mínimos para cada valor de periodicidade t são obtidos conforme as equações 5 e 6 a seguir:

$$valor\ máximo\ para\ periodicidade\ t = média + \left(3 \times \sqrt{variância\ relativa\ de\ extensão} \times média\right) \quad (4)$$

$$valor\ mínimo\ para\ periodicidade\ t = média - \left(3 \times \sqrt{variância\ relativa\ de\ extensão} \times média\right) \quad (5)$$

A razão de se multiplicar a variância relativa por três deve-se ao fato de que foi feita a estimativa usando o intervalo de confiança IC=99,9%, conforme estabelecido na curva de Gauss (Montgomery & Runger, 2021).

Convém finalizar este item explicando que foram coletadas diversos tipos de embalagens das oito fontes da marca Bonafont ® durante esse trabalho que durante mais de dois anos, essas embalagens foram levadas ao laboratório de análises e o laboratório só coletou uma alíquota de 200 ml de cada embalagem para fazer as análises: sendo que 100 ml são destinados à análise propriamente dita dos três parâmetros e os outros 100 ml são guardados para caso haja a necessidade se realizar uma contraprova dos resultados obtidos.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, encontram-se os resultados obtidos para as 7 fontes cujos resultados foram negativos para os três parâmetros microbiológicos. É extremamente satisfatório saber que não nenhuma contaminação bacteriológica em nenhuma dessas captações e o mais satisfatório é saber que isso de seu por um longo período que envolveu as quatro estações climáticas, ou seja, mais de um ano.

A tabela 2, vê-se que as captações da tabela 1 que são poços e nascentes também estão exploradas de forma higiênica, independente de serem poços ou nascentes, e o que tem contribuído para isso e o tipo de embalagem que tem sido utilizada que são as embalagens descartáveis conforme descrito na coluna “Embalagens coletadas” da tabela 2. Esse uso de embalagens descartáveis, embora tenha gerado uma grande quantidade de plástico, que pode ser reciclada, tem contribuído, indiscutivelmente com a qualidade microbiológica da água da fonte conforme veremos a seguir, ao analisar os resultados da Fonte Maestro.

A tabela 3 mostra os resultados das análises microbiológicas da Fonte Maestro, que foi a única fonte que apresentou presença de Bactérias Heterotróficas e Coliformes Totais. Por enquanto, só foi possível usar a variância de extensão para o parâmetro Bactérias Heterotróficas

O memorial de cálculo do uso da variância de extensão encontra-se na tabela 4. Na tabela 5 foi feito cálculo do Erro Relativo para cada intervalo de coleta ou frequência de coleta, começando-se com t = 2 dias e terminando-se com t = 2048 dias (t = 68 meses ou t = 5,7 anos).

A figura 1 mostra como o erro relativo vai aumentando quando se aumenta a frequência de amostragem para o parâmetro Bactérias Heterotróficas para a Fonte Maestro. Convém salientar aqui que não há nenhuma contaminação na fonte Maestro. Presume-se que deve estar havendo uma lavagem ineficiente dos galões de 10 e 20 litros.

O uso de embalagens de galões de 10 e 20 galões não é recomendado pelos

autores desse artigo, primeiramente porque não se pode checar se a lavagem é feita de forma eficiente. Segundo porque os galões quando devolvidos para mineradora retornam com “sujidades” e tem que lavados diversas vezes e ficam depositados no chão e não inspecionados, ficam sujeitos a mais sujidades, a poeiras, a pragas, etc. Terceiro motivo, os galões retornáveis tem que ser lavados com água mineral novamente em diversas etapas de lavagem até que fiquem limpos de novo. Quarto motivo, antes de serem limpos há uma pré-lavagem com soda cáustica que deixa resíduos nos galões. Quinto motivo, os galões retornáveis também têm prazo de validade que deve ser respeitado pelas empresas distribuidoras de águas minerais e isso influi na qualidade bacteriológica da águ .

Segundo os autores Domingues et al. (2007, p. 16), o valor para o parâmetro bactérias heterotróficas não devem exceder o valor de 500 UFC (Unidades Formadoras de Colônia). Os autores Domingues et al. (2007, p. 16) explicam sobre a importância da contagem das bactérias heterotróficas na água

> “A contagem de bactérias heterotróficas, genericamente definidas como microrganismos que requerem carbono orgânico como fonte de nutrientes, fornece informações sobre a qualidade bacteriológica da água de uma forma ampla. O teste inclui a detecção, inespecífica, de bactérias ou esporos de bactérias, sejam de origem fecal, componentes da flora natural da água ou resultantes da formação de biofilmes no sistema de distribuição. Servindo, portanto, de indicador auxiliar da qualidade da água, ao fornecer informações adicionais sobre eventuais falhas na desinfecção, colonização e formação de biofilmes no sistema de distribuição.”

Fonte	**Estação Climática de Amostragem**	**Estado**	**Parâmetros Microbiológicos**		
			Bactérias Heterotrófica	**Escherichia Coli**	**Coliformes Totais**
Japi	Primavera, verão, outono e inverno.	São Paulo	Ausente	Ausente	Ausente
Alvorada	Primavera, verão, outono e inverno.	São Paulo	Ausente	Ausente	Ausente
Paineira	Primavera, verão, outono e inverno.	Minas Gerais	Ausente	Ausente	Ausente
Água Leve	Primavera, verão, outono e inverno.	Minas Gerais	Ausente	Ausente	Ausente
Água Leve I	Primavera, verão, outono e inverno.	Minas Gerais	Ausente	Ausente	Ausente
Água Leve II	Primavera, verão, outono e inverno.	Minas Gerais	Ausente	Ausente	Ausente
Água Leve III	Primavera, verão, outono e inverno.	Minas Gerais	Ausente	Ausente	Ausente

Tabela 1. Resultados das Análises Microbiológicas para as 7 Fontes.

Nome da Fonte	Tipo de captação	Aquífero	Cidade	Estado	Embalagens coletadas	Há coletas de duplicatas		N° de amos-tras	Estações climáticas
						Sim	Não		
Alvorada	poço	Tubarão (CETESB, 2019)	Jundiaí	SP	Galões de 4,5 L e 7 L.	X		12	Primavera, verão, outono e inverno.
Japi	poço				Garrafas de 330 ml, 500 ml; 1,5 L; galões de 4,5 L e 7 L.	X		15	Primavera, verão, outono e inverno.
Maestro	poço	São Paulo (2019)	Itapecerica da Serra	SP	Galões de 10 L e 20 L	X		11	Primavera
Paineira	poço	Bacia Hidrográfica do Rio Grande na Unidade de Planejamento de Gestão de Recurso Hídrico (UPGRH) denominada GD 06 em Minas Gerais segundo Atlas da Universidade Federal de Viçosa (2018) e Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Grande – CBH Grande (2018).	Jacutinga	MG	Garrafas de 330 ml		X	13	Primavera, verão, outono e inverno.
Água Leve	nascente				Garrafas de 500 ml e 1,5 L		X	13	Primavera, verão, outono e inverno.
Água Leve I	nascente				Garrafas de 300 ml; 350 ml; 500 ml; 650 ml e 1,5 L.		X	15	Primavera, verão, outono e inverno.
Água Leve II	nascente				Garrafas de 500 ml; 1,5 L e 2,25 L.	X		13	Primavera, verão, outono e inverno.
Água Leve III	Nascente				Garrafas de 500 ml; 1,5 L e 2,25 L.		X	13	Primavera, verão, outono e inverno.

Tabela 2 – Características do processo de amostragem das Fontes.

Lote	hora do envase	data de fabricação	Identificaçã da amostra	tipo de embalagem	*Escherichia coli*	*Coliformes Totais*	*Bactérias Heterotró-ficas*	estação climática
LXXX	XX:XX	XX/XX/XX	68073	20 litros sem gás	Ausência	Presença	260	Não se sabe
L11T	20:25	30/09/2017	68074	20 litros sem gás	Ausência	Presença	230	primavera
L11T	20:35	30/09/2017	69486	20 litros sem gás	Ausência	Ausência	371	primavera
L11T	20:33	30/09/2017	69487	20 litros sem gás	Ausência	Presença	480	primavera
L11T	20:34	30/09/2017	69488	20 litros sem gás	Ausência	Presença	94	primavera
L11T	20:24	30/09/2017	69489	20 litros sem gás	Ausência	Ausência	48	primavera
L11T	20:33	30/09/2017	69490	20 litros sem gás	Ausência	Presença	320	primavera
L11T	06:34	27/11/2017	17.545.347/29	10 litros sem gás	Ausência	Presença	Ausência	primavera
L11T	06:35	27/11/2017	17.545.347/27	10 litros sem gás	Ausência	Presença	Ausência	primavera

L11T	06:35	27/11/2017	17.545.347/28	10 litros sem gás	Ausência	Presença	Ausência	primavera
L11T	14:39	29/11/2017	17.545.347/30	10 litros sem gás	Ausência	Presença	Ausência	primavera

Tabela 3. Resultados das Análises Microbiológicas para a Fonte Maestro.

Bactérias Heterotróficas ariância total = e Média =											
$\frac{t}{2}$	T	Inter-valo	$\bar{\gamma}\left(\frac{}{t}\right)$	$\bar{\gamma}\left(\frac{}{T}\right)$	σ^2_{ext}	% va-riancia total	σ_{ext}	σ_{rel}	$3\sigma_{rel}$	min	max
(1,0,0)	(2,0,0)	2	9801,20	3046,51	9,25%	55,20	12,80%	38,39%	95,07	213,53	9801,20
(2,0,0)	(4,0,0)	4	15746,68	3855,72	11,71%	62,09	16,19%	48,58%	79,33	229,27	15746,68
(4,0,0)	(8,0,0)	8	22609,69	8883,67	26,98%	94,25	37,31%	111,94%	-18,42	327,02	22609,69
(8,0,0)	(16,0,0)	16	27287,82	17931,56	54,45%	133,91	75,32%	225,95%	-194,34	502,94	27287,82
(16,0,0)	(32,0,0)	32	29938,30	24637,34	74,81%	156,96	103,48%	310,44%	-324,72	633,32	29938,30
(32,0,0)	(64,0,0)	64	31338,06	28538,54	86,66%	168,93	119,87%	359,60%	-400,56	709,16	31338,06
(64,0,0)	(128,0,0)	128	32060,75	30615,37	92,96%	174,97	128,59%	385,77%	-440,94	749,54	32060,75
(128,0,0)	(256,0,0)	256	32426,36	31695,14	96,24%	178,03	133,13%	399,38%	-461,94	770,54	32426,36
(256,0,0)	(512,0,0)	512	32610,02	32242,70	97,90%	179,56	135,43%	406,28%	-472,58	781,18	32610,02
(512,0,0)	(1024,0,0)	1024	32701,01	32519,03	98,74%	180,33	136,59%	409,76%	-477,96	786,56	32701,01
(1024,0,0)	(2048,0,0)	2048	32744,05	32657,97	99,17%	180,72	137,17%	411,51%	-480,66	789,26	32744,05

Tabela 4. Memorial de Cálculo da Variância de Extensão para as Bactérias Heterotróficas

Intervalo	**Erro IC = 64%**	**Erro IC = 99,9%**
2	12,80%	38,39%
4	16,19%	48,58%
8	37,31%	111,94%
16	75,32%	225,95%
32	103,48%	310,44%
64	119,87%	359,60%
128	128,59%	385,77%
256	133,13%	399,38%
512	135,43%	406,28%
1024	136,59%	409,76%
2048	137,17%	411,51%

Tabela 5.– Erro relativo das Bactérias Heterotróficas da Fonte Maestro com IC = 64% e IC = 99,9%

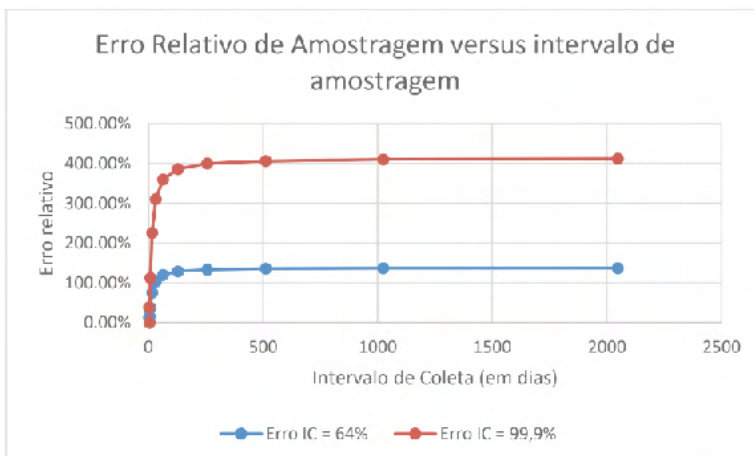



Figura 1 – Gráfico do erro relativo versus intervalo de coleta para as Bactérias Heterotróficas da Fonte Maestro para IC= 64% e IC= 99,9%.

A figura 1, que é um gráfico com base nos dados da tabela 5 nos mostra que com o intervalo de coleta de 8 dias o erro relativo de amostragem será maior que 30% para IC = 64% e será maior que 100% para IC = 99,9%. Para o intervalo de coleta menor que 2 dias, o erro relativo já terá um valor gritante, sendo maior que 10% para IC = 64% e maior que 30% para IC = 99,9%.

Com base em tudo que foi exposto até o presente momento, e com todos os resultados que se tem até aqui o intervalo de coleta mais apropriado a ser adotado para todas as fontes é o intervalo de coleta diário levando-se em conta que nem todas as fontes usam o mesmo tipo de embalagens e que nem todas as fontes podem estar sujeitas ao mesmo tipo de contaminação microbiológica conforme mostra a tabela 2. Veja a tabela 6 extraída do Anexo 14 da portaria n° 888 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021):

Parâmetro	**Tipo de Manancial**	**Saída Do Tratamento**	**Saída de Amostras retiradas no ponto de Consumo (para cada 1.000 hab.)**	**Frequência de Amostragem**
Cor aparente, pH, Coliformes totais e Escherichia Coli	Superficia	1	1	Semanal
	Subterrâneo	1	1	Mensal
Turbidez	Superficia	1	1	Semanal
	Subterrâneo	1	1	Semanal na saída do tratamento Mensal no ponto de consumo
Residual de desinfetante	Superficia	1	1	Diário
	Subterrâneo	1	1	

Demais parâmetros	Superficia	1	1	Semestral
	Subterrâneo	1	–	

Tabela 6.– Frequência de Amostragem dos Parâmetros.

Fonte: BRASIL (2021).

Pensando-se nesse motivo construiu-se a tabela 8 como sugestão aplicar-se na amostragem diária da linha dos garrafões retornáveis de 5, 10, 20 e 30 litros das empresas que costumem envasar esses tipos de embalagens. Para as empresas que não envasem galões retornáveis não se faz necessária a amostragem diária das embalagens basta seguir a portaria n° 888 (BRASIL, 2021) na íntegra.

Para as empresas que utilizam os dois tipos de embalagem recomenda-se amostrar diariamente apenas os galões retornáveis. E manter a frequência de amostragem descrita na portaria de potabilidade n° 888 apenas para as embalagens descartáveis.

Convém dizer aqui que a portaria de potabilidade n° 888, não atendeu ao critério de suficiência amostral do ponto de vista estatístico e geoestatístico apenas para as embalagens retornáveis por motivos que foram expostos exaustivamente neste artigo. E no caso, foi apenas para uma fonte por um curto período de tempo, está de adotando a amostragem diária apenas para pode se certificar de que o processo de lavagem está interferindo nos resultados.

Quando foram realizadas mais análises para essa fonte e se obtiver um número suficiente de análises negativas os três parâmetros anteriormente analisados, será averiguada a real necessidade se realizarem mais análises diárias a Fonte Maestro, pois para 7 das 8 fontes estudadas nesse artigo não são necessárias análises diárias e sim análises semanais para a Escherichia Coli e Coliformes Totais, e análises semestrais para as Bactérias Heterotróficas

Parâmetro	**Tipo de Manancial**	**Saída Do Tratamento**	**Número de amostras**	**Frequência de Amostragem**
Cor aparente, pH, Coliformes totais e Escherichia Coli	Subterrâneo	Pode ser a entrada ou a saída da linha de envase	1 amostra para cada dia de envase, ou 1 amostra para cada turno diário de envase.	Diário
Turbidez	Subterrâneo	Pode ser a entrada ou a saída da linha de envase	1 amostra para cada dia de envase, ou 1 amostra para cada turno diário de envase.	Diário

Residual de desinfetante	Subterrâneo	Pode ser a entrada ou a saída da linha de envase	1 amostra para cada dia de envase, ou 1 amostra para cada turno diário de envase.	Diário
Bactérias Heterotróficas	Subterrâneo	Pode ser a entrada ou a saída da linha de envase	1 amostra para cada dia de envase, ou 1 amostra para cada turno diário de envase.	Diário

Tabela 7.– Frequência de Amostragem dos Parâmetros Microbiológicos de Galões Retornáveis de 5, 10, 20 e 30 litros.

Fonte: Autores (2022).

4 | CONCLUSÕES

A frequência de análise dos parâmetros microbiológicos determinada na portaria de potabilidade n° 888 no Ministério da Saúde (BRASIL, 2021) pode ser usada para as seguintes fontes deste estudo: Fonte Japi, Fonte Alvorada, Fonte Paineira, Fonte Água Leve, Fonte Água Leve I, Fonte Água Leve II, Fonte Água III. Para as fontes mencionadas anteriormente, pode-se amostrar as bactérias heterotróficas semestralmente, e os Coliformes Totais e a Escherichia Coli semanalmente.

Para a Fonte Maestro onde foi possível realizar os cálculos da variância de extensão e cujos resultados foram positivos para Bactérias Heterotróficas e para Coliformes Totais, deve ser realizadas análises diárias para os três parâmetros microbiológicos em questão: Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais e Escherichia Coli. Isso deverá ser realizada durante um ano, ao longo das quatro estações climáticas, até que se obtenham uma quantidade de resultados negativos suficientes, de forma a se garantir que o processo de lavagem dos garrafões retornáveis está sendo confiável e de que não está havendo nenhuma contaminação microbiológicas das embalagens.

REFERÊNCIAS

BRASIL. ANM – Agência Nacional de Mineração. Decreto-Lei nº 7841 - de 8 de agosto 1945 Código de Águas Minerais. Brasília, 1945. Disponível em: https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/TematicaAction.php?acao=abrirVinculos&cotematica=10059295&cod_menu=6783&cod_modulo=405. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

BRASIL. Departamento de Produção Mineral – DNPM**.** (National Department of Mineral Production). **Portaria nº 540**, de 18/12/2014, DOU de 19/12/2014. Brasília, DF: DNPM, 2014. Estabelece limites mínimos dos elementos dignos de nota, para a classificação das Águas Minerais. Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=760. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

BRASIL. ANM – Agência Nacional de Mineração. Portaria SEI n° 32 - de 29 de janeiro 2019 Brasília, 2019a. Disponível em: https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/TematicaAction.php?acao=abrirVinculos&cotematica=10059297&cod_menu=6783&cod_modulo=405. Acesso em 12 de novembro de 2020.

BRASIL. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamentação das Águas no Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Brasília, 2019b. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewe .html?pdfurl=http%3A%2F%2Fwww.resag.org.br%2Fcongresoresagenqualab2014%2Fanais%2Fcurriculosfotos%2Felisabete%2Fregulamentacaodasaguas2014.pdf&clen=1195535&chunk=true. Acesso em 28 de janeiro de 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade Brasília, 2021. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (Technology Company of Environmental Sanitation). **Norma Técnica L5. 403.** Clostridium perfringens: determinação em amostras de água pela técnica de membrana filtrante - método de ensaio. 23 pp, 2004. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/servicos/normas/vigentes/L5.403_Clostridium%perfringens%20determina%C3%A7%C3%A3o%20em%20amostras%20de%20%C3%A1gua%20pela%20t%C3%A9cnica%20de%20membrana%20filtrant.pd . Acesso em 24 de janeiro de 2015.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. GSLIB Geostatistical Software and User's Guide: Oxford University Press, New York, 1998, 369 pp.

GSLIB. Geostatistical Software Library. 2014. Disponível em: http://www.gslib.com/. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros.7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021

PITARD, F.F. Pierre Gy's Sampling Theory and Sampling Practice, Second Edition: Heterogeneity, Sampling Correctness, and Statistical Process Control. 2. ed. CRC Press. 1993, 528 p.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496 p.

SARMA D. D., Geostatistics with Applications in Earth Sciences, Springer, 2009, 220 p.

SGeMS - Standford Geostatistical Modelling Software. Disponível em: http://sgems.sourceforge.net/. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – Atlas Digital das Águas de Minas. Disponível em: http://www.atlasdasaguas.ufv.br/atlas_digital_das_aguas_de_minas_gerais.html. Acesso em 15 de outubro de 2018.

SOBRE O ORGANIZADOR

LUIS RICARDO FERNANDES DA COSTA - Professor do Departamento de Geociências e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES. Atualmente é Coordenador Didático do Curso de Licenciatura em Geografi (gestão 2021/2022). Doutor em Geografia (2017) pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, com período sanduíche na Universidade de Cabo Verde - Uni-CV. É Licenciado (2012) e Mestre (2014) em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Foi bolsista de Iniciação Científica com o projeto Megageomorfologia e Geomorfologia Costeira do Nordeste Setentrional Brasileiro (Ceará e áreas adjacentes do Rio Grande Norte e Paraíba), com ênfase nos estudos sobre geomorfologia fluvial no sertão de Crateús e áreas adjacentes. Foi bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científic e Tecnológico - CNPq, na modalidade Apoio Técnico (AT). É pesquisador do Laboratório de Geomorfologia da UNIMONTES, atuando principalmente na área da geografia física com ênfase em geomorfologia, mapeamento geomorfológico e análise ambiental em áreas degradadas/desertificadas

ÍNDICE REMISSIVO

A

B

C

D

E

F

G

H

I

L

M

N

P

Q

R

S

T

V

GEOCIÊNCIAS:

A história da terra

2

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2022

GEOCIÊNCIAS:

A história da terra

2

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2022